

Schlussbericht

Autoren:

IONOS

 Stackable

 north.io

Universität
Rostock  Traditio et Innovatio

 Fraunhofer
IGD

C | A | U 
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

GEOMAR 

gaia-x 

Überblick – Executive Summary

Das Projekt Marispace-X war eine wegweisende Initiative, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Gaia-X-Förderinitiative gefördert wurde. Das Projekt verfolgte von Anfang an das Ziel, einen Gaia-X-konformen, föderierten maritimen Datenraum zu schaffen. Dieser sollte einen sicheren, souveränen und interoperablen Austausch von Daten im gesamten maritimen Sektor ermöglichen und dadurch neue Wertschöpfungspotenziale erschließen.

Ein breit aufgestelltes Konsortium aus Industrie, Wissenschaft und Forschungseinrichtungen widmete sich den zentralen Herausforderungen im maritimen Bereich. Dazu zählten fragmentierte Datenlandschaften, mangelnde Interoperabilität und der Bedarf an vertrauenswürdigen Mechanismen zum Datenaustausch, die die Datensouveränität wahren. Trotz erheblicher externer Herausforderungen, darunter Verzögerungen bei der Verfügbarkeit der Gaia-X Federation Services (GXFS), sowie interner Schwierigkeiten, wie dem Ausscheiden des Partners MacArtney, hat das Konsortium seinen Kernauftrag erfolgreich erfüllt.

Zu den zentralen Ergebnissen des Projekts zählt eine modulare Cloud-, Edge- und Fog-Infrastruktur, die maritime Daten auf verschiedenen Ebenen – von Sensoren im Feld bis hin zu regionalen und globalen Cloud-Diensten – sicher und effizient verarbeiten kann. Das Konsortium integrierte zudem föderierte Identitäts- und Vertrauensdienste und entwickelte Interimslösungen, um Verzögerungen externer Komponenten zu kompensieren und so ein sicheres Onboarding sowie eine Governance für den Datenaustausch zu gewährleisten. Ein funktionsfähiger föderierter Katalog und Mechanismen zur Sicherung der Datensouveränität wurden ebenfalls entwickelt, um die vertrauenswürdige Suche und Bereitstellung von Daten zu unterstützen. Das Projekt demonstrierte seinen Erfolg in vier realen Anwendungsfällen: dem Internet der Unterwasserdinge (IoUT) / Maritimen Testfeld, der Überwachung und Analyse von Offshore-Windenergie, der Detektion und Kartierung von Munitionsaltlasten sowie der Überwachung mariner Lebensräume zum Klimaschutz. Darüber hinaus wurden Geschäftsmodelle und Verwertungspläne erarbeitet, um die Plattform und ihre Komponenten für eine nachhaltige wirtschaftliche und gesellschaftliche Nutzung zu positionieren.

Marispace-X liefert eine Blaupause für maritime Datenräume, die Europas digitale Souveränität stärkt, Innovationen fördert und Werkzeuge zur Bewältigung ökologischer, operativer und wirtschaftlicher Herausforderungen im maritimen Sektor bereitstellt. Die Projektergebnisse bilden eine robuste Grundlage für zukünftiges Wachstum, die weitere Verwertung und die fortschreitende Integration in das sich entwickelnde Gaia-X-Ökosystem.

Überblick – Executive Summary.....	2
KAPITEL 1: EINLEITUNG.....	5
1.1 Zweck und Aufbau des Berichts.....	5
KAPITEL 2: PROJEKTHINTERGRUND.....	7
2.1 Ziele und Projektumfang.....	7
2.2 Projektbeschreibung.....	8
2.3 Aufgaben und Methodik:.....	9
2.4 Kontinuierliches und strategisches Engagement.....	10
2.5 Wissenschaftlicher und technischer Hintergrund.....	10
Aus wissenschaftlicher Perspektive:.....	10
Aus technischer Sicht:.....	11
2.6 Bedingungen und Planung.....	12
2.6.1 Ausgangsbedingungen und Projektplanung.....	12
2.7 Zusammenarbeit und Ressourcennutzung.....	13
2.7.1 Kollaborative Bemühungen und Ressourcenmanagement.....	13
KAPITEL 3: PROJEKTDURCHFÜHRUNG UND –ORGANISATION.....	14
3.1 Projektpartner und Abweichungen.....	14
3.2 Organisationsstruktur und Implementierungsprozess.....	14
KAPITEL 4: FINANZEN UND FÖRDERMITTEL.....	16
4.1 Abweichungen bei der Mittelverwendung.....	16
KAPITEL 5: ABWEICHUNGEN UND KORREKTURMASSNAHME.....	17
5.1 Partnerwechsel.....	17
5.2 Externe Abhängigkeiten: Gaia-X Federation Services (GXFS).....	17
5.3 Finanzielle Anpassungen.....	17
5.4 Auswirkungen der Abweichungen.....	18
KAPITEL 6: ERGEBNISSE UND ZIELERREICHUNG.....	19
6.1 Technische und organisatorische Errungenschaften.....	19
6.1.1 Cloud-, Edge- und Fog-Integration:.....	19
6.1.2 Föderierte Identität, Vertrauen und Datensouveränität:.....	19
6.1.3 Föderierter Katalog und föderierte Dienste:.....	19
6.1.4 Open-Source-Beiträge:.....	20
6.2 Demonstratoren der Anwendungsfälle.....	21

6.2.1 Detaillierte Beschreibung Use Case I – Maritimes Testfeld (Internet of Underwater Things - IoUT).....	21
6.2.2 Detaillierte Beschreibung Use Case II – Offshore Wind (AP 6).....	24
6.2.3 Detaillierte Beschreibung Use Case III: Munition im Meer (AP 7).....	25
6.2.4 Detaillierte Beschreibung Use Case IV – Dekarbonisierung / Biologischer Klimaschutz.....	27
6.3 Entwicklung der Architektur und von Geschäftsmodellen:.....	29
6.4 Quantitative Ergebnisse auf einen Blick:.....	29
KAPITEL 7: VERGLEICH MIT DEN URSPRÜNGLICHEN ZIELEN.....	30
KAPITEL 8: VERWERTUNGSPLAN.....	31
KAPITEL 9: HERAUSFORDERUNGEN UND PROJEKTÜBERGREIFENDE ERKENNTNISSE.....	44
9.1 Externe Abhängigkeiten: Verzögerungen und Reifegrade von Gaia-X Federation Services (GXFS).....	44
9.2 Partneraustritt.....	44
9.3 Komplexität der domänenübergreifenden Integration.....	44
9.3 Timing und Koordination über Arbeitspakete hinweg.....	45
KAPITEL 10: AUSBLICK UND FORTFÜHRUNG.....	46
KAPITEL 11: MEHRWERT DES MARISPACE-X-PROJEKTS.....	47
KAPITEL 12: ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNG.....	48

KAPITEL 1: EINLEITUNG

Das Projekt Marispace-X stellt eine ehrgeizige und visionäre Initiative dar, die auf die Transformation des maritimen Datenökosystems abzielt. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), vereinte Marispace-X ein breit aufgestelltes Konsortium aus Technologieunternehmen, Forschungseinrichtungen und Fachexperten, um einen föderierten, Gaia-X-konformen maritimen Datenraum zu schaffen. Dieser Abschlussbericht dokumentiert die Entwicklung von Marispace-X von der Konzeption bis zum Abschluss und beleuchtet dessen Ziele, Errungenschaften, Herausforderungen, Abweichungen sowie die zukünftigen Verwertungspläne.

Über die Erfüllung formaler Berichtspflichten hinaus dient dieser Bericht als Nachweis, wie öffentliche Fördermittel einen nachhaltigen Mehrwert geschaffen haben: durch innovative technische Lösungen, die Stärkung der digitalen Souveränität Europas und Beiträge zur ökologischen Nachhaltigkeit. Jeder Abschnitt spiegelt unser Bekenntnis zu Transparenz, kontinuierlichem Lernen und dem verantwortungsvollen Umgang mit den bereitgestellten Ressourcen wider.

1.1 Zweck und Aufbau des Berichts

Der Abschlussbericht zu Marispace-X dient als umfassende Dokumentation unseres gemeinsamen Weges, die digitale Transformation im maritimen Sektor voranzutreiben. Dieser Bericht erfüllt nicht nur unsere Verpflichtungen gegenüber dem BMWK und der BNetzA; vielmehr beschreibt er die Entwicklung einer wegweisenden Initiative, die ein breit aufgestelltes Konsortium von Partnern aus Industrie, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung zusammenbrachte. Alle arbeiteten auf ein gemeinsames Ziel hin: die Schaffung eines sicheren, interoperablen und souveränen maritimen Datenökosystems, das sich an den visionären Prinzipien von Gaia-X orientiert.

Dabei verfolgen wir ein zweifaches Ziel. Erstens bieten wir einen klaren und transparenten Vergleich zwischen den ursprünglich gesetzten und den tatsächlich erreichten Zielen, Arbeitspaket für Arbeitspaket. Zweitens zeigen wir auf, warum dieses Projekt einen nachhaltigen Mehrwert geschaffen hat – nicht nur im Hinblick auf technische Innovationen, sondern auch, indem es den Grundstein für eine praxisnahe Verwertung und eine nachhaltige Wirkung legt. Im gesamten Bericht gehen wir auf die Projektbegründung, die technischen und organisatorischen Fortschritte, den verantwortungsvollen Umgang mit Finanzmitteln und unseren konkreten Plan zur Umsetzung der Ergebnisse ein.

Das Dokument ist in folgende Hauptabschnitte gegliedert:

- Hintergrund und Ziele: Erläuterung der Motivationen und Zielsetzungen, die Marispace-X geprägt haben.

- Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse: Eine detaillierte Übersicht über Aufgaben, Resultate und Abweichungen mit Fokus auf Transparenz.
- Verwertung und Wirkung: Darlegung, wie die Projektergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus Mehrwert schaffen werden.
- Gewonnene Erkenntnisse und Ausblick: Weitergabe von Erkenntnissen als Grundlage für zukünftige Initiativen im Umfeld von Gaia-X und maritimen Datenräumen.

KAPITEL 2: PROJEKTHINTERGRUND

In der heutigen, zunehmend vernetzten Welt steht der maritime Sektor sowohl vor einer enormen Chance als auch vor einer großen Herausforderung. Ozeane, Meere und Küstengebiete sind Quellen gewaltiger Datenmengen, die täglich von Sensoren auf Schiffen, Offshore-Plattformen, Unterwasserfahrzeugen, Satelliten und Umweltmessstationen erfasst werden. Diese Daten sind der Schlüssel zu einer intelligenteren Schifffahrt, sichereren Offshore-Operationen, einem besseren Umweltschutz und wirksameren Klimaschutzmaßnahmen. Jedoch leidet der Sektor seit Langem unter fragmentierten Systemen, proprietären Lösungen und dem Fehlen eines vertrauenswürdigen Rahmens, um diese Daten kollaborativ zu teilen und zu nutzen.

Marispace-X entstand aus der Erkenntnis, dass der maritime Sektor dringend ein digitales Ökosystem benötigt, in dem Daten sicher, fair und effizient fließen können – und in dem die Dateneigentümer die Souveränität über die Verwendung ihrer Informationen behalten. Unser Projekt hatte zum Ziel, ein solches Ökosystem zu schaffen, aufbauend auf den Prinzipien von Gaia-X: Offenheit, Transparenz, Interoperabilität und Datensouveränität.

Wir haben Marispace-X als einen Katalysator für den Wandel konzipiert. Nicht nur als technische Plattform, sondern als eine neue Form der domänen- und organisationsübergreifenden Zusammenarbeit – eine, die es den maritimen Akteuren ermöglicht, den vollen Wert ihrer Daten zu erschließen und gleichzeitig die europäischen Werte wie Datenschutz, Sicherheit und Vertrauen zu wahren. Kurz gesagt, zielte Marispace-X darauf ab, dem maritimen Sektor ein digitales Rückgrat zu geben, das seiner entscheidenden Rolle für unsere Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft gerecht wird.

2.1 Ziele und Projektumfang

Marispace-X war von Anfang an ambitioniert konzipiert, denn die Anforderungen des maritimen Sektors sind komplex und die Möglichkeiten, positive Veränderungen voranzutreiben, sind enorm. Im Kern verfolgte das Projekt die folgenden Hauptziele:

- Die Schaffung einer Gaia-X-konformen Cloud-Infrastruktur, die auf die spezifischen Bedürfnisse des maritimen Sektors zugeschnitten ist. Diese Infrastruktur sollte als Grundlage für die sichere Datenspeicherung, den Datenaustausch und die Datenverarbeitung in einem föderierten Ökosystem dienen.
- Die Integration föderierter Identitäts- und Vertrauensdienste, die den Datenanbietern die Gewissheit geben, dass ihre Informationen sicher und nach ihren eigenen Bedingungen geteilt werden können, um so Vertrauen über Organisations- und Ländergrenzen hinweg zu fördern.
- Die Ermöglichung von Datensouveränität und sicheren Datenaustauschmechanismen, sodass sensible Daten – ob von Behörden, Forschungseinrichtungen oder privaten Betreibern – verantwortungsvoll geteilt und genutzt werden können.
- Die Unterstützung von Edge-, Fog- und Cloud-Computing-Architekturen, um Echtzeit- oder Nahezu-Echtzeit-Analysen zu ermöglichen, die für Anwendungen wie

Umweltmonitoring, Offshore-Energiebetrieb und maritime Sicherheit entscheidend sind.

- Die Entwicklung und Validierung von Demonstratoren für reale Anwendungsfälle, um zu zeigen, wie die Plattform konkrete Bedarfe adressieren kann in den Bereichen:
 - Das Internet der Unterwasserdinge (IoUT) – zur Vernetzung von Unterwassersensoren und -fahrzeugen für eine intelligentere Meeresüberwachung.
 - Offshore-Wind (Erneuerbare Energien) – zur Unterstützung der Energiewende durch bessere Datenintegration und -analyse.
 - Munition im Meer (Mariner Umweltschutz) – zur Unterstützung bei der Identifizierung und Minderung der Risiken von Kampfmittelaltlasten.
 - Biologischer Klimaschutz (Dekarbonisierung) – zur Förderung von Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung mariner Ökosysteme als Kohlenstoffsenken.

Der Projektumfang umfasste die gesamte Datenwertschöpfungskette: von der Datenerfassung und -verwaltung über die Verarbeitung, den Austausch und die Visualisierung bis hin zur letztendlichen Nutzung in entscheidungsunterstützenden Systemen. Marispace-X brachte ein breit gefächertes und vielfältiges Konsortium zusammen, das Expertisen in den Bereichen Cloud-Infrastruktur, maritime Technologien, Datenmanagement und Data Science, Umweltmonitoring sowie digitale Geschäftsmodelle vereinte. Gemeinsam strebten wir danach, nicht nur Technologie zu entwickeln, sondern den Grundstein für eine neue maritime Datenökonomie zu legen.

2.2 Projektbeschreibung

Marispace-X ist ein gemeinschaftliches Vorhaben, das eine einzigartige Kombination aus Industrie, Forschung und akademischen Einrichtungen zusammenbrachte, von denen jeder Partner spezialisiertes Wissen und Technologien in eine gemeinsame Vision einbrachte. Der Anspruch des Projekts war es nicht, lediglich eine weitere Datenplattform zu schaffen, sondern ein prototypisches, Gaia-X-konformes maritimes Daten- und Service-Ökosystem aufzubauen, das als Referenzmodell für den Sektor dienen kann. Im Kern hatte sich Marispace-X zum Ziel gesetzt:

- Einen sicheren, souveränen und effizienten Datenaustausch sowie die daraus resultierende Wertschöpfung für die maritime Domäne zu ermöglichen.
- Die Interoperabilität zwischen verschiedenen Datenquellen, Systemen und Akteuren zu fördern, sodass maritime Daten frei und nutzbringend über Domänengrenzen hinweg fließen können.
- Sich am Gaia-X-Rahmenwerk auszurichten und dazu beizutragen, um sicherzustellen, dass die Lösung die europäischen Werte Offenheit, Vertrauen und Datensouveränität widerspiegelt.

Um dies zu erreichen, wurde Marispace-X durch Mittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Gaia-X-Förderinitiative gefördert. Das

Konsortium umfasste:

- **IONOS SE:** Projektkoordinator, verantwortlich für die zentrale Cloud-Infrastruktur und die Architekturentwicklung.
- **North.io GmbH:** Co-Lead für das Projektmanagement und die Plattformentwicklung, mit Beiträgen zu Datenvisualisierungs- und Integrationstools.
- **TrueOcean GmbH:** Anbieter von Lösungen für die maritime Datenintegration und -analyse.
- **Stackable GmbH:** Entwickler von Open-Source-Daten-Service-Stacks und föderierten Diensten.
- **Fraunhofer IGD:** Verantwortlich für digitale Zwillingkonzepte und die Integration des föderierten Katalogs.
- **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel:** Beitrag zur Fachexpertise bei der Erkennung und Kartierung von Munitionsaltlasten im Meer.
- **Universität Rostock:** Entwickler von KI-basierten Methoden zur maritimen Datenanalyse und von digitalen Geschäftsmodellen für die Plattform.
- **Universität Kiel (CAU):** Spezialist für die Verarbeitung von Sensordaten und die Überwachung mariner Ökosysteme.

Jeder Partner spielte eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung von Plattformteilen oder der Demonstration des Mehrwerts in spezifischen Anwendungsfällen. Durch dieses gemeinschaftliche Vorhaben strebte das Konsortium an, nicht nur Technologie zu entwickeln, sondern den Grundstein für eine neue maritime Datenökonomie zu legen.

2.3 Aufgaben und Methodik:

Zur Umsetzung dieser ehrgeizigen Vision kombinierte Marispace-X hochmoderne technologische Entwicklung mit einer sorgfältig geplanten Methodik und enger Kollaboration. Die Arbeit war in klar definierte Arbeitspakete (AP) gegliedert, die jeweils spezifische Ziele und Aufgaben umfassten. Die thematische Aufteilung der Arbeitspakete war wie folgt:

- AP1–4 konzentrierten sich auf den Aufbau der technischen Grundlagen: Cloud-Infrastruktur, föderierte Dienste, Mechanismen für Datensouveränität und den Application Stack.
- AP5–8 befassten sich mit den Anwendungsfällen und stellten sicher, dass die Plattform reale Anforderungen in den Bereichen Internet der Unterwasserdinge (IoUT), Offshore-Wind, Munitionsaltlasten im Meer und biologischer Klimaschutz erfüllte.
- AP9 fokussierte sich auf die wirtschaftliche Verwertung und Geschäftsmodelle, um sicherzustellen, dass die Projektergebnisse nachhaltigen Mehrwert schaffen.
- AP10 umfasste das Projektmanagement das die Abstimmung, Koordination und Qualitätssicherung über das gesamte Konsortium hinweg gewährleistete.

Die angewandten Methoden kombinierten agiles Projektmanagement und iterative Entwicklung. Dies ermöglichte es, sich an neue Herausforderungen – wie Verzögerungen bei der Verfügbarkeit externer Gaia-X-Komponenten – anzupassen und dennoch Ergebnisse zu liefern. Zusätzlich kamen gemeinsame Architektur- und Design-Workshops zum Einsatz, um die technische Abstimmung und Integration aller Partner zu gewährleisten. Die Entwicklung von Prototypen und Demonstratoren zeigte, wie die technischen Komponenten in realen Anwendungsfällen eingesetzt werden können. Ein starker Fokus auf offene Standards und Open Source sicherte zudem Interoperabilität, Transparenz und langfristige Nachhaltigkeit.

2.4 Kontinuierliches und strategisches Engagement

Kontinuierliches und vielschichtiges Engagement mit dem Gaia-X-Ökosystem war ein Eckpfeiler des Marispace-X-Projekts. Dies war ein strategischer Ansatz, um die Ausrichtung des Projekts an den sich entwickelnden europäischen Standards sicherzustellen und es als aktiven Mitwirkenden bei der Entwicklung föderierter Datenräume zu positionieren. Durch diese andauernde Partizipation lieferte das Konsortium praxisnahe Einblicke und Erkenntnisse aus der maritimen Domäne, die dazu beitrugen, die technische und strategische Ausrichtung der breiteren Initiative zu verfeinern. Zentrale Projektvertreter pflegten eine konsistente Präsenz und nahmen an einer Reihe von Aktivitäten teil, um Erfolge zu teilen und zur Community beizutragen:

- **Workshops und Roadshows:** Jann Wendt von North.io hielt Präsentationen beim Gaia-X Perspektiven Workshop und der Gaia-X Roadshow am 9. Februar 2023. Diese Aktivität stellte die Fortschritte und Perspektiven des Projekts der breiteren Community vor. Darüber hinaus hat auch die IONOS SE aktiv an dieser Veranstaltung teilgenommen.
- **Beiträge zur Standardisierung und Fachkompetenz:** Marcel Louwers von TrueOcean leistete aktive Beiträge zu wichtigen technischen Diskussionen, indem er bei einem Gaia-X Hub Workshop zur Standardisierung in der Datenökonomie und bei einem Workshop zu Gaia-X und Smart Contracts präsentierte. Seine Expertise wurde ferner durch seine Teilnahme an einem Gaia-X Experteninterview gewürdigt, bei dem er spezialisierte Impulse zur Verfeinerung strategischer Aspekte der Initiative lieferte.
- **Öffentliche Präsentation:** Die Innovationen des Projekts wurden bei der Gaia-X Expo einem breiten Publikum vorgestellt, wo sowohl Jann Wendt als auch Marcel Louwers die Ergebnisse des Förderwettbewerbs präsentierten.

Durch dieses andauernde Engagement richtete sich Marispace-X nicht nur an den sich entwickelnden Gaia-X-Rahmenwerken aus, sondern festigte auch seine Position als wichtiger Beitrag zur Entwicklung eines souveränen, europäischen maritimen Datenökosystems.

2.5 Wissenschaftlicher und technischer Hintergrund

Das Marispace-X-Projekt stützte sich sowohl auf wissenschaftliche Forschung als

auch auf technische Innovation und zog dabei die neuesten Fortschritte in den Bereichen Cloud-Computing, föderierte Datensysteme, KI und maritime Technologien heran.

Aus wissenschaftlicher Perspektive:

- Wir befassten uns mit dem aktuellen Stand der maritimen Datenökosysteme und erkannten die Herausforderungen, die durch fragmentierte Systeme, proprietäre Lösungen und das Fehlen vertrauenswürdiger Rahmenwerke für den Datenaustausch entstehen.
- Wir bauten auf bestehenden Forschungsarbeiten zu verteilten und föderierten Systemen auf, insbesondere auf den Initiativen von Gaia-X und International Data Spaces (IDS).
- Wir haben Methodiken in der KI-gesteuerten Datenanalyse vorangetrieben, insbesondere für die Überwachung der Meeresumwelt, die Kartierung des Meeresbodens und die Erkennung biologischer Lebensräume.

Aus technischer Sicht:

- Unsere Architektur wurde modular und föderiert konzipiert. Sie unterstützt Cloud-, Edge- und Fog-Komponenten, sodass Daten dort verarbeitet werden können, wo es am sinnvollsten ist – sei es auf Schiffen, Unterwasserfahrzeugen oder in Cloud-Rechenzentren.
- Wir haben föderierte Identitäts- und Vertrauensdienste, einschließlich Self-Sovereign-Identity-(SSI)-Frameworks und Verifiable Credentials, integriert, um eine sichere Zugangskontrolle und Datensouveränität zu gewährleisten.
- Während wir aktiv zur Implementierung und zum Testen der Gaia-X Federation Services beitragen, wurden unsere Fortschritte durch die Unreife und die verzögerte Verfügbarkeit von entscheidenden vertrauensbezogenen Diensten beeinträchtigt, einschließlich Operational Compliance Management (OCM) und Personal Consent Management (PCM).
- Unsere Plattform umfasste Open-Source-Tools für die Datenaufnahme, -verarbeitung, -analyse und -visualisierung, die sicherstellten, dass die maritimen Akteure von einer umfassenden, interoperablen Lösung profitieren konnten.

2.6 Bedingungen und Planung

Die strategische Planungsphase des Projekts umfasste eine eingehende Beurteilung der Ausgangsbedingungen, wobei klare Zeitpläne, Meilensteine und zu erbringende Leistungen definiert wurden. Dieser Planungsprozess stellte sicher, dass das Projekt seine definierten Ziele einhalten konnte und alle Partner ihre Beiträge und Rollen aufeinander abstimmten.

2.6.1 Ausgangsbedingungen und Projektplanung

Mit einer umfassenden Analyse der damaligen maritimen Landschaft schuf das Projekt ein strategisches Rahmenwerk, das detaillierte Zeitpläne und Meilensteine umfasste. Dieses Rahmenwerk leitete den Projektfortschritt, sicherte die termingerechte Erledigung der Aufgaben und die Ausrichtung auf die übergeordneten strategischen Ziele. Als Marispace-X begann, betraten wir ein Umfeld voller Versprechen und Komplexität. Die Ausgangsbedingungen spiegelten die damaligen Realitäten des maritimen Sektors wider:

- Daten wurden in beispiellosem Ausmaß und mit hoher Geschwindigkeit gesammelt – von Schiffen, Offshore-Plattformen, Unterwasserfahrzeugen, Umweltsensoren, Satelliten und Forschungsexpeditionen.
- Dennoch blieben diese Daten weitgehend isoliert. Verschiedene Organisationen, Systeme und Technologien sprachen nicht „dieselbe Sprache“.
- Vertrauensrahmenwerke für den Austausch sensibler Daten über Organisations- oder Ländergrenzen hinweg waren schwach oder nicht vorhanden.
- Die Gaia-X-Initiative hatte ihre Vision einer europäischen Dateninfrastruktur auf Basis von Offenheit, Souveränität und Interoperabilität dargelegt. Jedoch befanden sich viele der technischen Komponenten – insbesondere die Gaia-X Federation Services (GXFS) – bei Projektstart noch in der Entwicklung.

Angesichts dieses Kontexts musste die strategische Planung für Marispace-X sowohl ehrgeizig als auch flexibel sein. Wir erstellten einen Fahrplan mit klaren Meilensteinen:

- Erste 12 Monate: Konzeption und Prototyping der Kerninfrastruktur (Cloud, Edge, Fog-Integration); Festlegung technischer und architektonischer Anforderungen; Erstellung des Konzepts für föderierte Dienste.
- Monate 12–24: Bereitstellung und Verfeinerung der Infrastruktur; Integration föderierter Dienste und des Identitätsmanagements; Beginn der Entwicklung und Erprobung von Anwendungsfall-Demonstratoren.
- Monate 24–36: Finalisierung und Validierung der Demonstratoren; Optimierung der Plattform basierend auf Feedback und Leistungsdaten; Dokumentation der Verwertungsstrategien und Vorbereitung der Fortführung nach Projektende.

Trotz globaler Herausforderungen (einschließlich anhaltender Störungen durch die COVID-19-Pandemie in der Anfangsphase) bot unser Plan eine robuste Grundlage, um den Fortschritt zu steuern und sich gleichzeitig an unerwartete Verschiebungen anzupassen – wie beispielsweise Verzögerungen bei der Bereitstellung der Gaia-X-Vertrauenskomponenten (z. B. OCM, PCM, usw.).

2.7 Zusammenarbeit und Ressourcennutzung

2.7.1 Kollaborative Bemühungen und Ressourcenmanagement

Marispace-X ist ein Beispiel für effektive Zusammenarbeit über diverse Sektoren hinweg, bei der jeder Partner spezialisierte Ressourcen und Expertise einbrachte. Die Projektzusammenarbeit nutzte modernste Technologien und branchenspezifische Erkenntnisse, um die Ausrichtung aller Komponenten an den Gaia-X-Protokollen zu gewährleisten. Der Geist der Kollaboration, der das Konsortium durchdrang, war eine der entscheidenden Stärken von Marispace-X. Wir legten einen starken Schwerpunkt auf:

- Gemeinsame Entwicklungssitzungen und Design-Workshops, die die Abstimmung der technischen Komponenten sicherstellten.
- Gemeinsam genutzte Infrastruktur-Ressourcen, mit Test- und Staging-Umgebungen, die von Partnern bereitgestellt wurden (z. B. regionale Clouds auf dem Ocean Technology Campus, Fraunhofer Cloud-Umgebungen, IONOS-Infrastruktur).
- Offene Kommunikation und Dokumentation, unter Verwendung kollaborativer Tools für Versionskontrolle, Dokumentation und Problemverfolgung (z. B. GitHub, Notion, Microsoft Office Shared Drive, Asana).

Das Ressourcenmanagement wurde sorgfältig verfolgt, um sicherzustellen, dass die Mittel dort eingesetzt wurden, wo sie den größten Nutzen erbrachten:

- Wir priorisierten Open-Source-Lösungen und wiederverwendbare Komponenten, um den Nutzen der öffentlichen Förderung zu maximieren.
- Wo externe Gaia-X-Dienste verzögert oder unvollständig waren, entwickelten wir alternative Lösungen oder Workarounds, um sicherzustellen, dass die Projektziele dennoch erreicht werden konnten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es bei der Zusammenarbeit und der Nutzung der Ressourcen nicht nur um das Teilen von Werkzeugen und Infrastruktur ging. Vielmehr ging es darum, ein gemeinsames Verständnis, gegenseitiges Vertrauen und ein kollektives Engagement für die Realisierung der Marispace-X-Vision zu schaffen.

KAPITEL 3: PROJEKTDURCHFÜHRUNG UND –ORGANISATION

3.1 Projektpartner und Abweichungen

Das Marispace-X-Projekt wurde von einem sorgfältig zusammengestellten Konsortium vorangetrieben, dessen kombinierte Stärken den Projekterfolg ermöglichten. Jeder Partner brachte wesentliche Expertise ein und übernahm eine definierte Rolle zur Erreichung der Projektziele:

- **IONOS SE (Koordinator):** Führte die Konzeption und Bereitstellung der Cloud-Infrastruktur, überwachte die architektonische Integration und managte die gesamte technische Koordination des Projekts.
- **North.io GmbH:** Co-Leiter des Projektmanagements, verantwortlich für die Plattformentwicklung und Visualisierungstools, die komplexe maritime Daten in nutzbare Erkenntnisse übersetzen.
- **TrueOcean GmbH:** Stellte Fachwissen über maritime Domänen sowie Tools für die Integration und Analyse heterogener Datensätze aus Offshore- und marinen Quellen bereit.
- **Stackable GmbH:** Spezialisiert auf Open-Source-Datenservicelayer, trug maßgeblich zur Entwicklung föderierter Katalogdienste und technischer Komponenten bei.
- **Fraunhofer IGD:** Leitete die Arbeit an digitalen Zwillingskonzepten, Datenkatalogen und Federation-Service-Templates; entscheidend für die Integration von Identitäts- und Vertrauensframeworks sowie für die Weiterentwicklung der Gaia-X-Clearing-House-Prozesse.
- **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel:** Brachte marine Forschungsexpertise ein, insbesondere bei der Bildgebung, Detektion und Kartierung von Munition im Meer (Anwendungsfall III).
- **Universität Rostock:** Entwickelte KI-basierte Methodiken für die Verarbeitung maritimer Daten und trug zur Schaffung von digitalen Geschäftsmodellen für die Plattform bei.
- **Universität Kiel (CAU):** Brachte Expertise in der Verarbeitung von Sensordaten, der Integration und der Analyse mariner Ökosysteme ein.

Eine wesentliche, transparent zu behandelnde Abweichung war der formelle Austritt der MacArtney Germany GmbH aus dem Konsortium am 01.01.2023. Als Korrekturmaßnahme wurden die Aufgaben und Budgets für Anwendungsfall I (Maritimes Testfeld / IoUT) neu verteilt. Die der MacArtney GmbH zugewiesenen Aufgaben wurden auf die verbleibenden Partner, insbesondere Fraunhofer IGD, North.io und IONOS, umverteilt, um die Kontinuität bei der Erreichung der technischen Ziele zu gewährleisten.

3.2 Organisationsstruktur und Implementierungsprozess

Die Umsetzung von Marispace-X folgte einer mehrschichtigen Struktur:

- Ein zentrales Koordinationsteam unter der Leitung von IONOS und North.io managte die projektweiten Aktivitäten und stellte die Integration der technischen

Arbeitsströme, die Einhaltung der Gaia-X-Prinzipien und die Abstimmung mit den Erwartungen des BMWK sicher.

- Eine technische Lenkungsgruppe mit Vertretern aller Schlüsselpartner war für architektonische Entscheidungen, die Integration von Komponenten und die Verwaltung der Schnittstellen zwischen den Arbeitspaketen verantwortlich.
- Die einzelnen AP-Leads verwalteten ihre jeweiligen Arbeitspakete und berichteten dem Koordinationsteam über Fortschritte, Herausforderungen und Risikofaktoren.

KAPITEL 4: FINANZEN UND FÖRDERMITTEL

Marispace-X wurde vom BMWK im Rahmen der Gaia-X-Innovationsinitiative mit dem expliziten Ziel gefördert, eine skalierbare, verwertbare Plattform zu schaffen, die Europas Datensouveränitätsziele in der maritimen Domäne unterstützt. Die Mittel wurden für folgende Zwecke verwendet:

- Entwicklung und Bereitstellung der technischen Infrastruktur (Cloud-, Edge-, Fog-Layer).
- Aufbau und Test von Föderationsdiensten und Mechanismen zur Datensouveränität.
- Erstellung von Demonstratoren für zentrale Anwendungsfälle.
- Entwicklung von Geschäftsmodellen und Verwertungsplänen.
- Sicherstellung der Verbreitung von Ergebnissen durch Open-Source-Beiträge, Publikationen und die aktive Teilnahme in der Gaia-X-Community.

Die detaillierte Finanzierungsbegründung ist im Anhang A dargelegt.

4.1 Abweichungen bei der Mittelverwendung

Während die finanzielle Verwaltung des Projekts die genehmigten Budgets und Förderrichtlinien einhielt, traten zwei bemerkenswerte Abweichungen auf:

- Einige Mittel, die für die Integration externer Gaia-X-Dienste (GXFS) vorgesehen waren, wurden zur Entwicklung von Interimslösungen und zusätzlichen internen Workarounds umgeleitet, da die Bereitstellung von Gaia-X-Vertrauenskomponten (z. B. OCM, PCM usw.) unzureichend reif und verspätet war.
- Der Austritt von MacArtney führte dazu, dass die für seine Aufgaben geplante Finanzierung ungenutzt blieb. Die Universität Rostock übernahm die Aufgaben der MacArtney GmbH und deren zugehöriges Budget, welches an die Firma Subsea weitergeben wurde.

Als Korrekturmaßnahme wurden alle Abweichungen und Mittelumschichtungen transparent in den Zwischenberichten dargelegt. Das Konsortium stellte sicher, dass keine Mittel missbraucht wurden und jeder Euro zur Erreichung der Projektziele beitrug.

KAPITEL 5: ABWEICHUNGEN UND KORREKTURMASSNAHME

Obwohl Marispace-X seiner Vision treu blieb und einen substanziellen Mehrwert lieferte, sah sich das Projekt wie jedes komplexe Innovationsprojekt Herausforderungen und notwendigen Abweichungen vom ursprünglichen Plan gegenüber. Dieser Abschnitt bietet einen transparenten Überblick über diese Abweichungen, ihre Gründe und die ergriffenen Schritte zur Minderung ihrer Auswirkungen, um kontinuierlichen Fortschritt und Wirkung zu gewährleisten.

5.1 Partnerwechsel

Die MacArtney Germany GmbH, ursprünglich für die Leitung wesentlicher Teile von AP5 (Anwendungsfall I: Maritimes Testfeld / IoUT) verantwortlich, trat zum 01.01.2023 aus dem Konsortium aus. Dieser Austritt schuf Lücken in den geplanten Beiträgen für AP5, insbesondere bei der Sensorintegration und dem Testfeldbetrieb. Als Korrekturmaßnahme wurden die Aufgaben und Budgets an verbleibende Partner wie Fraunhofer IGD, North.io und IONOS neu verteilt, um die Kontinuität der technischen Ziele sicherzustellen. Die Universität Rostock übernahm die Aufgaben und das damit verbundene Budget von MacArtney und vergab diese an Subsea als Unterauftrag.

5.2 Externe Abhängigkeiten: Gaia-X Federation Services (GXFS)

Marispace-X plante ursprünglich die Integration der offiziellen GXFS, einschließlich des föderierten Katalogs sowie der Vertrauens- und Identitätsmechanismen für Edge/Fog-Ebenen, gemäß dem Gaia-X-Fahrplan. Unsere Fortschritte wurden jedoch durch die Unreife und verzögerte Verfügbarkeit von entscheidenden vertrauensbezogenen Diensten wie Operational Compliance Management (OCM) und Personal Consent Management (PCM) beeinträchtigt. Infolgedessen verzögerte sich der ursprünglich für Monat 12 geplante Meilenstein M2.1 „Föderierte Dienste & Kataloge“.

Als Korrekturmaßnahme fixierte das Konsortium im Februar 2024 eine stabile Version des föderierten Katalogs, um eine verlässliche Grundlage für die weitere Arbeit zu schaffen. Zudem wurden, wo nötig, interne Mock-ups und Interimskomponenten entwickelt, um Architekturkonzepte zu demonstrieren und die Integrationsarbeit fortzusetzen.

5.3 Finanzielle Anpassungen

Die ursprüngliche Budgetplanung umfasste Mittel für die Aktivitäten von MacArtney und die Integration voll funktionsfähiger GXFS-Komponenten. Aufgrund des Austritts von MacArtney blieb ein Teil des Budgets in AP5 ungenutzt. Mittel, die für die GXFS-Integration vorgesehen waren, wurden zudem teilweise umgeleitet, um kompensierende Lösungen zu entwickeln. Alle Budgetanpassungen wurden transparent in den Finanzberichten dargelegt und außerhalb der Projektziele wurden keine Mittel neu zugewiesen.

5.4 Auswirkungen der Abweichungen

Trotz dieser Abweichungen hat das Projekt seine Kernziele erreicht: eine funktionierende, nachweisbare und Gaia-X-konforme Architektur für einen maritimen Datenraum mit validierten Anwendungsfällen. Die ergriffenen Korrekturmaßnahmen stellten sicher, dass Marispace-X weiterhin einen Mehrwert für die öffentliche Förderung und den maritimen Sektor lieferte.

KAPITEL 6: ERGEBNISSE UND ZIELERREICHUNG

Das Marispace-X-Projekt setzte sich ehrgeizige Ziele: die Schaffung eines sicheren, Gaia-X-konformen maritimen Datenraums, die Demonstration seines Mehrwerts durch reale Anwendungsfälle sowie die Etablierung einer Grundlage für Verwertung und Wachstum über die Projektlaufzeit hinaus. Im Folgenden wird detailliert dargelegt, wie diese Ziele erreicht wurden, wobei die technischen und organisatorischen Ergebnisse im Vordergrund stehen.

6.1 Technische und organisatorische Errungenschaften

6.1.1 Cloud-, Edge- und Fog-Integration:

Wir haben erfolgreich eine modulare, geschichtete Infrastruktur bereitgestellt, die Folgendes unterstützt:

- Echtzeit- und nahezu Echtzeit-Verarbeitung am Edge (z. B. auf Schiffen oder Unterwasserplattformen).
- Aggregation und weiterführende Analyse in regionalen Fog-Knoten (z. B. die Cloud-Umgebung des Ocean Technology Campus).
- Zentralisierte oder föderierte Verarbeitung in öffentlichen/privaten, an den Gaia-X-Prinzipien ausgerichteten Clouds (gehostet von IONOS und anderen).

Diese Architektur stellt sicher, dass Daten dort verarbeitet werden können, wo es am sinnvollsten ist – sei es aus Gründen der Geschwindigkeit, Sicherheit, Kosten oder Souveränität.

6.1.2 Föderierte Identität, Vertrauen und Datensouveränität:

Trotz externer Verzögerungen haben wir:

- Self-Sovereign-Identity-(SSI)- und Verifiable-Credentials-Systeme integriert, die es den Teilnehmern ermöglichen, die Datenfreigabe und den Zugriff zu steuern.
- Einen Clearing-House-Prozess pilotiert, der Transparenz und Governance beim Datenaustausch bietet.
- Die Kompatibilität mit Gaia-X-Federation-Services wurde sichergestellt, indem stabile Versionen und bei Bedarf Interimskomponenten verwendet wurden.

6.1.3 Föderierter Katalog und föderierte Dienste:

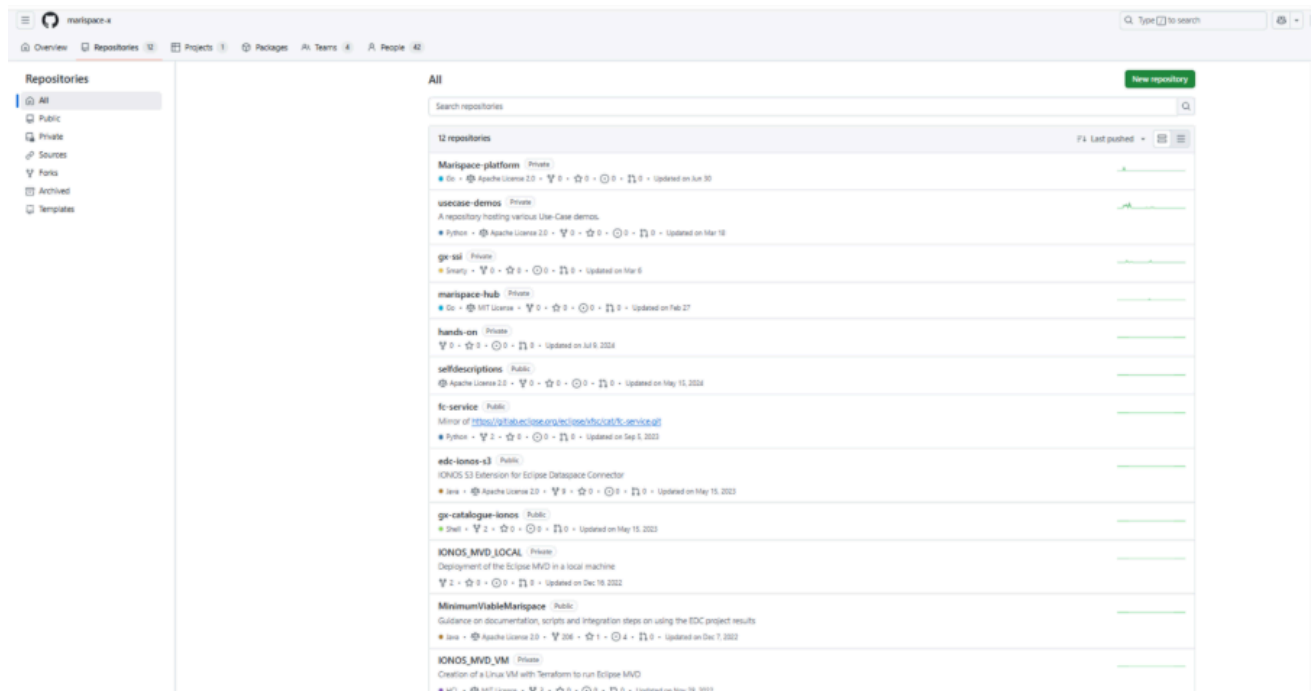
Trotz externer Verzögerungen haben wir:

- Einen funktionsfähigen föderierten Katalog bereitgestellt, der an maritime Datentypen und Standards angepasst wurde.
- Dienste zur Identitätsverwaltung integriert, um ein vertrauenswürdiges Onboarding und eine Zugangskontrolle zu unterstützen.
- Vorlagen, Mockups und Erweiterungen entwickelt, um Lücken zu schließen, die durch Verzögerungen bei GXFS entstanden sind.

6.1.4 Open-Source-Beiträge:

Ein Kernprinzip der Projektstrategie war die Open-Source-Entwicklung, um Interoperabilität, Transparenz und langfristige Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Marispace-X hat insgesamt fünf (5) zentrale Open-Source-Komponenten veröffentlicht, die über den GitHub-Kanal von Marispace-X öffentlich zugänglich sind¹. Diese Beiträge ermöglichen es Bildungseinrichtungen, Forschungspartnern und der Open-Source-Community, die technischen Innovationen des Projekts zu nutzen und weiterzuentwickeln. Die wichtigsten öffentlichen Repositories des Projekts umfassen:

- **MinimumViableMarispace²**: Dieses Repository bietet Anleitungen und Dokumentationen zur Kernarchitektur und den Integrationsschritten des Projekts.
- **edc-ionos-s3³**: Eine IONOS S3-Erweiterung für den Eclipse-Dataspace-Connector, die Operationen in den IONOS S3-Speicher ermöglicht.
- **fc-service⁴**: Dieses Repository ist ein Spiegel des föderierten Katalogdienstes der Eclipse Foundation und stellt eine Schlüsselkomponente für die Datensuche bereit.
- **gx-catalogue-ionos⁵**: Dieses Repository enthält Komponenten im Zusammenhang mit der Gaia-X-Katalogintegration.
- **selfdescriptions⁶**: Dieses Repository enthält Vorlagen und fertige Self-Descriptions für Sensordaten und Sensoren, die einen neuen Standard für den Datenaustausch im maritimen Sektor definieren.



¹ <https://github.com/orgs/marispace-x/repositories?type=all>

² <https://github.com/marispace-x/MinimumViableMarispace>

³ <https://github.com/marispace-x/edc-ionos-s3>

⁴ <https://github.com/marispace-x/fc-service>

⁵ <https://github.com/marispace-x/gx-catalogue-ionos>

⁶ <https://github.com/marispace-x/gx-catalogue-ionos>

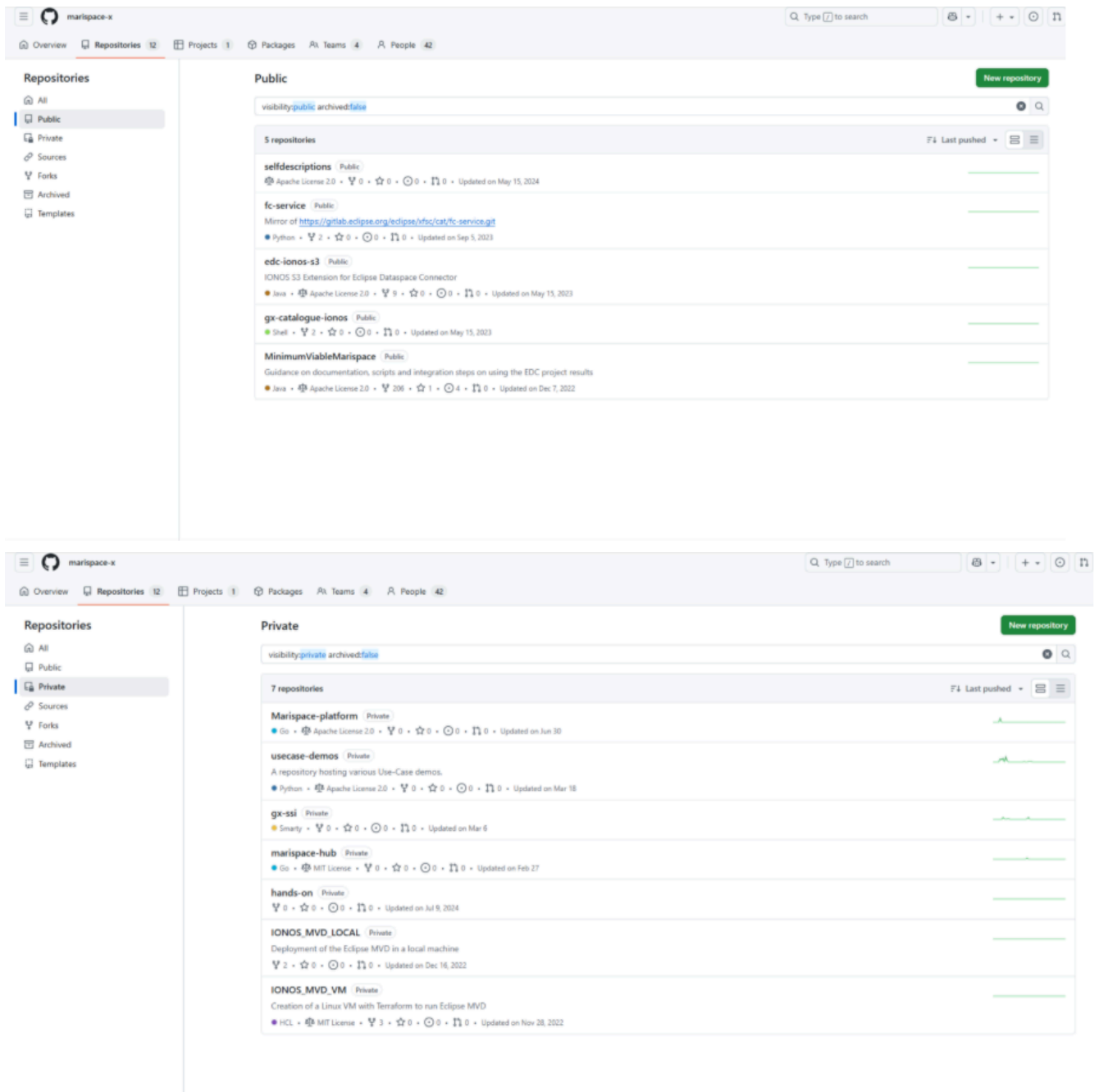


Abbildung 1. Drei Snapshots der Marispace-X GitHub Organisation und Repositories

6.2 Demonstratoren der Anwendungsfälle

6.2.1 Detaillierte Beschreibung Use Case I – Maritimes Testfeld (Internet of Underwater Things - IoUT)

Verantwortliches Arbeitspaket: AP 5 **Koordination:** Fraunhofer IGD **Partner:** north.io, Stackable, Universität Rostock, CAU Kiel

Überblick und Infrastruktur

Das zentrale Element des Anwendungsfalls ist das Digital Ocean Lab (DOL), ein Unterwassertestfeld vor der Küste von Nienhagen (ca. 10 km westlich von Rostock). Das DOL dient als reale Testumgebung und wurde im Projektverlauf mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, um Forschungsfragen zu Munition im Meer, Kabelverlegungen und dem Langzeitmonitoring von Unterwasserstrukturen zu adressieren.

Beiträge der Partner und Ergebnisse

Fraunhofer IGD (Koordination & Datenmanagement)

Der Fokus des Fraunhofer IGD lag auf dem Aufbau einer umfassenden Datenbank zur Verwaltung der Sensordaten, welche die bisherige dateibasierte Ablage ersetzte.

- **Datenmanagement:** Die Datenbank wurde evaluiert und erweitert, um Fähigkeiten, Standorte und Zustände der Geräte zu verwalten und Rohdaten mit relevanten Metadaten anzureichern.
- **Datenqualität:** Es wurden Kriterien für die Datenqualität definiert (u.a. Vollständigkeit, Einzigartigkeit, Genauigkeit, Konsistenz). Zur Sicherung dieser Qualität wurde die `test_quality`-Bibliothek entwickelt. Diese Softwarebibliothek ermöglicht standardisierte Tests zur Bereinigung doppelter Datenpunkte und zur Rekonstruktion fehlender Messpunkte.
- **Dissemination:** Gemeinsam mit der Universität Rostock wurde die Publikation „The Digital Ocean Lab (DOL): Centralising Ocean Research in the Baltic Sea“ erstellt und bei der IEEE Oceans 2024 eingereicht.

Universität Rostock (KI & Geschäftsmodelle)

Nach dem Austritt der MacArtney Germany GmbH übernahm die Universität Rostock Aufgabenbereiche im AP5 sowie Budgetanteile (teilweise weitergeben an Subsea), um die Kontinuität der IoT-Entwicklung zu sichern.

- **KI-Analyse:** Entwicklung von KI-Verfahren zur maritimen Datenauswertung und deren Integration in die föderierte Plattform.
- **Verwertung:** Erarbeitung digitaler Geschäftsmodelle und Nutzungsszenarien, um die wirtschaftliche Verwertbarkeit der IoT-Lösungen im Gaia-X-Kontext sicherzustellen.

CAU Kiel (Verteilte Systeme & Navigation)

Die CAU Kiel konzentrierte sich auf die Navigation und Datenerfassung autonomer Systeme.

- **Navigation:** Optimierung der Routenplanung und Navigation von ROVs und AUVs unter Nutzung von AIS-Daten der dänischen Seeschifffahrt.
- **3D-Rekonstruktion:** Entwicklung von Verarbeitungsketten für die 3D-Unterwasserrekonstruktion in Kooperation mit der University of Southern California (USC).
- **Echtzeit-Analyse:** Vorverarbeitung und Fusion von Messdaten zur Ermöglichung von Near-Real-Time-Analysen im Data Space.

Stackable (Daten-Infrastruktur)

Stackable stellte den Open-Source-Datenservicestack bereit, der für Edge-, Fog- und Cloud-Umgebungen optimiert wurde.

- **Föderierte Dienste:** Weiterentwicklung föderierter Katalogdienste (Federated Catalogues) und Bereitstellung containerisierter Federation Services (XFSC).
- **Interoperabilität:** Demonstration des Betriebs in Kubernetes-Umgebungen zur Erhöhung der Interoperabilität von IoT-Daten über verschiedene Infrastrukturebenen hinweg.

north.io (Plattform & Visualisierung)

Als Co-Leiter des Projektmanagements trieb north.io die Plattformentwicklung voran.

- **Visualisierung:** Bereitstellung von Tools zur nachvollziehbaren Darstellung der Demonstrationen.
- **Gaia-X Konformität:** Sicherstellung des konformen Austauschs und Transparenz gegenüber Stakeholdern zur Unterstützung der Verwertungsmodelle.

Zusammengefasst, in diesem Anwendungsfall haben wir Folgendes erstellt:

- Integration von Unterwassersensordaten-Flüssen.
- Entwicklung digitaler Zwillingmodelle.
- Validierung von Edge-Fog-Cloud-Datenketten unter realen Bedingungen (z. B. auf dem Testgelände des Digital Ocean Lab).

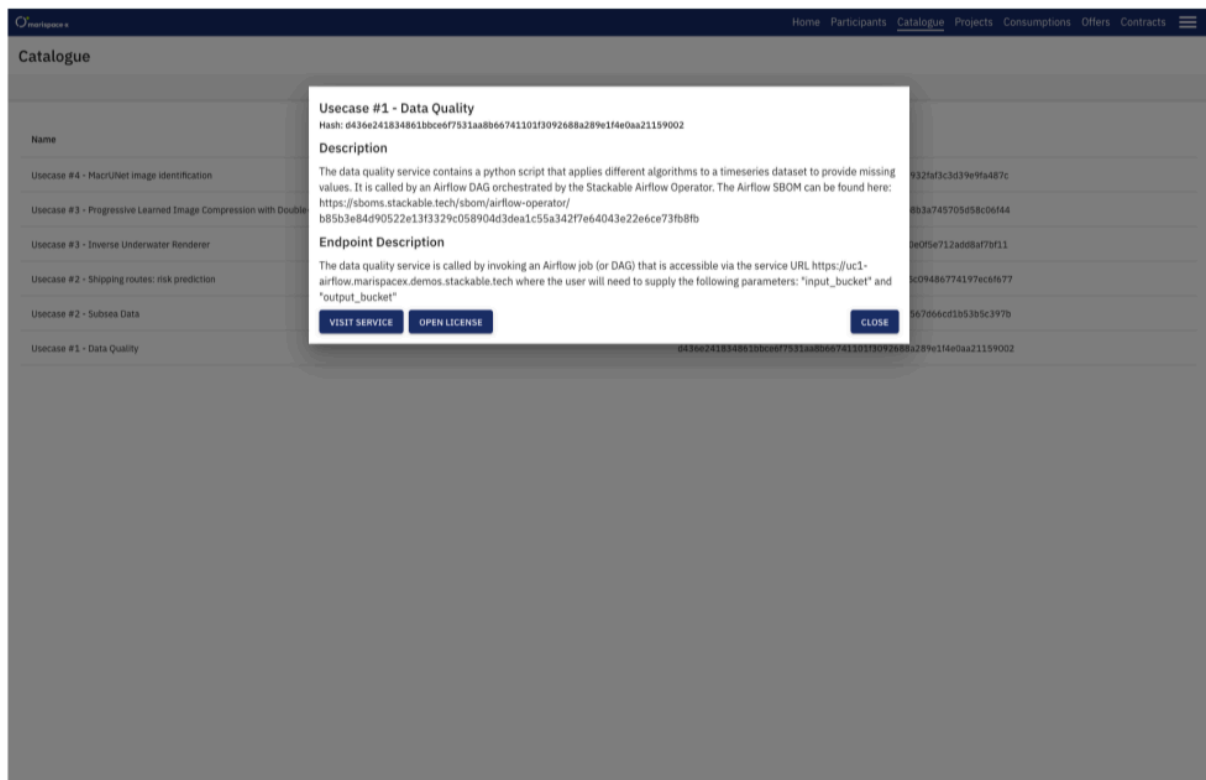


Abbildung 2 – Marispace-X Plattform – Usecase Datensatz

6.2.2 Detaillierte Beschreibung Use Case II – Offshore Wind (AP 6)

Fokus: Intelligente Verwaltung und Analyse von Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Offshore-Windparks (25+ Jahre).

Zielsetzung und Methodik

Ziel war die nachhaltige Kostenreduktion und Effizienzsteigerung durch optimiertes Asset-Handling und Datennutzung von der Planung bis zur Stilllegung. Dabei wurde eine klare architektonische Trennung zwischen souveränem Datenaustausch und projektspezifischer Kollaboration als vorteilhaft identifiziert.

Technische Umsetzung und Ergebnisse

Datenkuration und Analyse (north.io)

Es wurden heterogene Messdatensätze (optisch und radarbasiert) kuratiert und geeignete Datenstrukturen definiert. Zur Qualitätssicherung und Objekterkennung wurde die Berechnung geomorphologischer Indikatoren unterstützt:

- Mittlere, maximale, vertikale und horizontale Krümmung.
- Unsphärizität, Punktdichte und Punktabstand.
- Gefälle, Hangneigung und Robustheit.

Workflow-Implementierung (TrueOcean)

TrueOcean implementierte prototypische Workflows vom Daten-Upload bis zur Analyse.

- **Gaia-X Prototyp:** Bereitstellung eines Gaia-X-konformen Prototyps für Planung, Monitoring und Kollaboration.
- **Datenintegration:** Nutzung von Open-Source-Daten, insbesondere des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), zur Erstellung von Mustern für Selbstbeschreibungen.

Marispace-X Federated Operating Environment

Das entwickelte "Federated Operating Environment" stellt die benötigten föderierten Services als Workflow dar. Der Prozess umfasst die Antragstellung zur Teilnahme, den Zugriff auf den föderierten Katalog, die Vertragsverhandlung zwischen Provider und Consumer sowie die finale Nutzung des Services.

Zusammengefasst, in diesem Anwendungsfall haben wir Folgendes erstellt:

- Aggregation und Analyse von Offshore-Winddaten.
- Validierung von Datenqualitätsmetriken und Visualisierungs-Workflows.

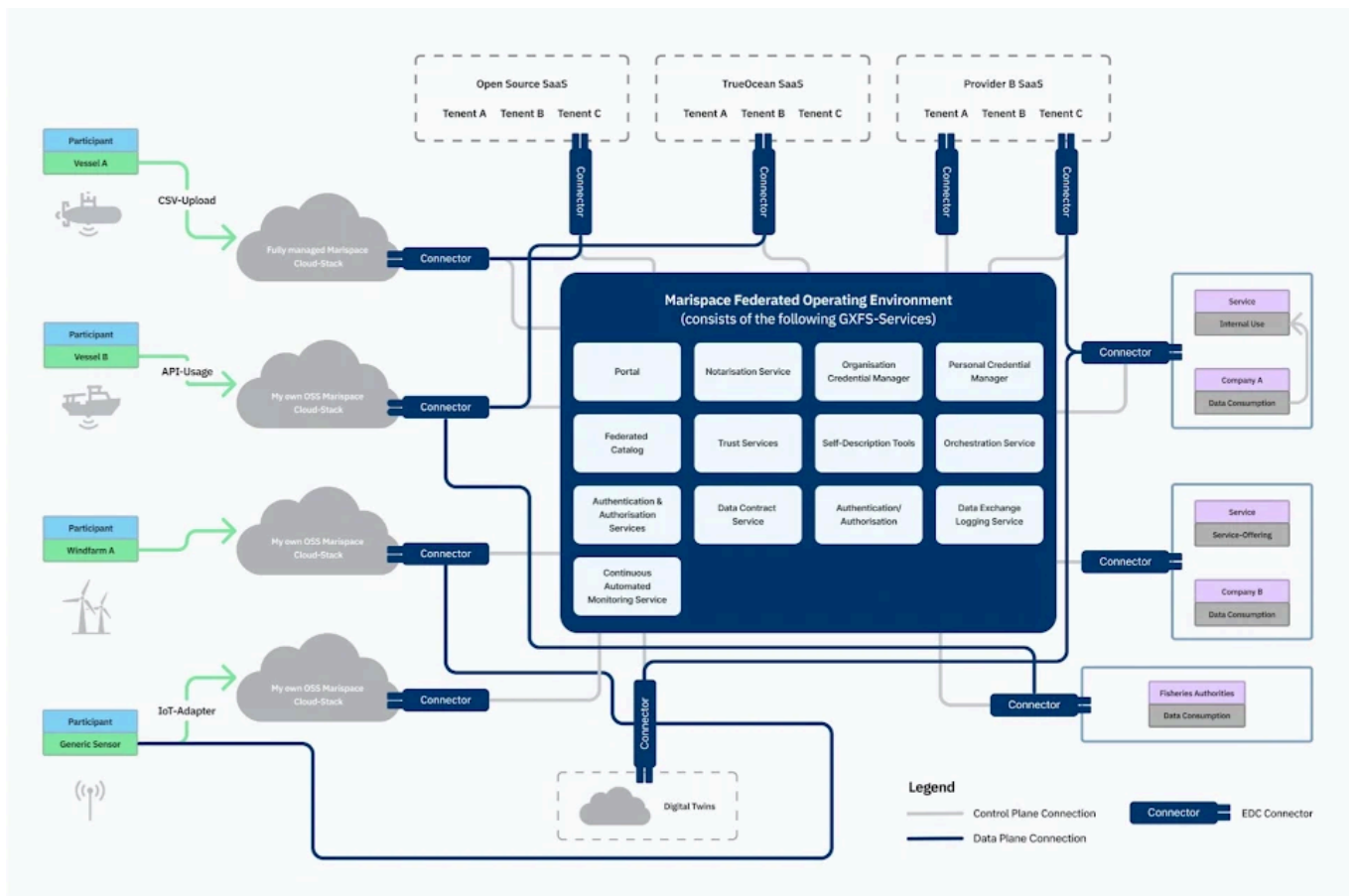


Abbildung 3 – Marispace-X Infografik True Ocean

6.2.3 Detaillierte Beschreibung Use Case III: Munition im Meer (AP 7)

Das primäre wissenschaftlich-technische Ziel des Teilvorhabens - Munition im Meer war die Entwicklung neuartiger Technologien zur bildbasierten Detektion und Klassifizierung von Altlasten am Meeresboden. Im Zentrum stand der Aufbau einer skalierbaren, interoperablen Dateninfrastruktur, die Edge-, Fog- und Cloud-Computing verbindet.

Status: Der Meilenstein M7 (Use Case III: Munition im Meer) wurde erfolgreich erreicht. Alle relevanten Aufgaben und Arbeitspakete wurden abgeschlossen und demonstrieren einen durchgängigen Workflow von der Datenerfassung unter Wasser bis zur KI-Analyse in der Cloud.

Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Das GEOMAR konzentrierte sich auf die technische Implementierung der Bildakquise, 3D-Rekonstruktion und KI-basierten Detektion.

- **Infrastruktur & Bildverarbeitung (Edge/Fog):**
 - **Software-Basis:** Entwicklung einer C++-Bibliothek zur Echtzeit-Bildvorverarbeitung (Farbe, Helligkeit, Informationsgehalt) zur Steuerung von Kamera- und Tauchparametern.
 - **3D-Rekonstruktion:** Erfolgreicher Wechsel von *Metashape* zu **COLMAP**, was eine hochauflösende, autonome 3D-Rekonstruktion direkt auf den Tauchrobotern (Edge) ermöglichte.

- o **Qualitätskontrolle (IQA):** Integration von KI-basierten Qualitätsmetriken und einem Framework zur automatischen Bildqualitätskontrolle auf Edge-Komponenten.
- **KI-Methoden & Visualisierung:**
 - o **Objekterkennung:** Training tiefer neuronaler Netze (insb. **VGG16**) zur spezifischen Detektion von Munitionsobjekten.
 - o **Generische Segmentierung:** Implementierung flexibler Frameworks (nutzt u.a. **Segment Anything**) zur schnellen Anpassung auf neue Objekttypen.
 - o **Visualisierung:** Einbindung der **BIIGLE**-Plattform zur Annotation und Visualisierung der KI-Ergebnisse sowie Bereitstellung neuer Schnittstellen für Trainingsdaten.

Datenökosystem & GAIA-X Integration

TrueOcean GmbH und north.io GmbH stellten die Integration der technischen Ergebnisse in einen GAIA-X-konformen Datenraum sicher.

- **Sichere Integration:** Erfolgreiche Einbindung sensibler hydroakustischer und geophysikalischer Datenströme in föderierte Dienste.
- **Datensouveränität & Sicherheit:** TrueOcean gewährleistete die Wahrung der Datensouveränität in geteilten Workflows. north.io realisierte die vollständige **Rückverfolgbarkeit** und Zugriffskontrolle, eine kritische Anforderung für sicherheitsrelevante Anwendungen (z. B. Kampfmittelräumung).
- **SaaS-Layer:** Die generierten Metriken und Visualisierungen wurden für die Nutzung im Software-as-a-Service (SaaS)-Layer verfügbar gemacht.

Verwertung, Transfer & Policy-Kontext

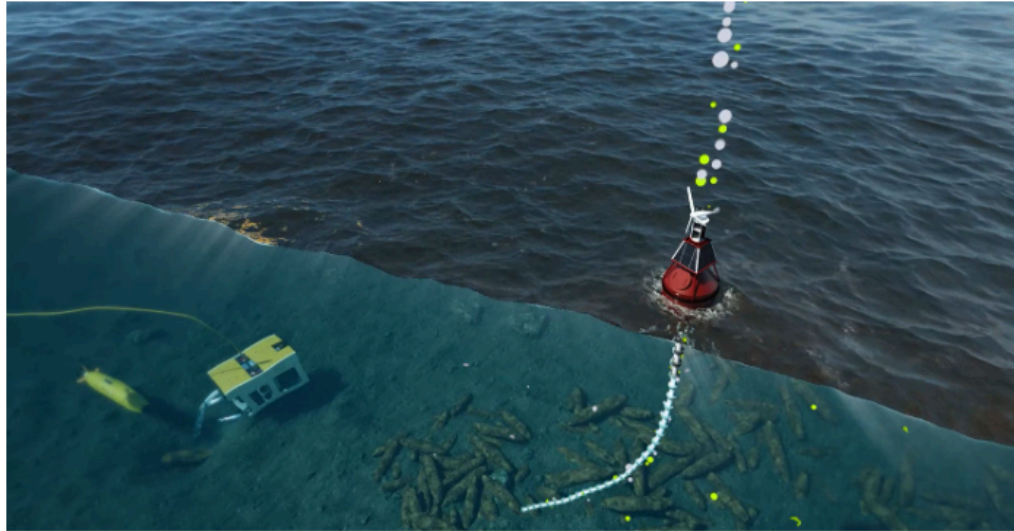
Das Projekt begegnete Herausforderungen bezüglich fehlender GAIA-X Basisdienste durch einen strategischen Schwenk von einem "geschlossenen" Monetarisierungsmodell hin zu einem **Open Science**-Ansatz, ohne dabei Sicherheitsaspekte zu vernachlässigen.

- **Open Source Veröffentlichung:** Die Bibliothek zur Bildqualitätsanalyse (IQA) wurde als Open Source veröffentlicht (DOI: 10.3289/SW_1_2025).
- **Wirtschaftlicher Transfer:** Die entwickelten KI-Methoden werden bereits durch die Transferabteilung des GEOMAR als Datenverarbeitungsdienst und lizenzierbarer Quellcode angeboten.

Ausblick: north.io plant die vollständige Integration der GAIA-X-konformen Datenmanagement-Strukturen für "Munition im Meer" zwischen **2026 und 2027** in ihre kommerzielle Plattform. Das Teilvorhaben UC3 hat erfolgreich einen sicheren und effizienten End-to-End-Workflow validiert – von der Sensoraufnahme bis zur KI-Klassifizierung. Die Zusammenarbeit bewies, dass sicherheitskritische maritime Daten effektiv in einem föderierten Datenraum verwaltet werden können, sofern strenge Zugriffskontrollen und Rückverfolgbarkeit implementiert sind.

Zusammengefasst, in diesem Anwendungsfall haben wir Folgendes erstellt:

- Kombination von Multi-Sensordaten (akustisch, optisch, Satellit) zur Identifizierung von Munitionsobjekten.
- Einsatz fortschrittlicher KI-Techniken zur Detektion und Kartierung.



- *Abbildung 5 - Echtzeit-Überwachungsdaten von Munitionsversenkungsgebieten können direkt in den Marispace-X-Datenraum hochgeladen werden.*

6.2.4 Detaillierte Beschreibung Use Case IV – Dekarbonisierung / Biologischer Klimaschutz

Thema: Kartierung, Monitoring und Vorhersage von Makrophyten (Seegras, Braunalgen) als Kohlenstoffsenken.

Methodik: Multi-Sensor-Ansatz (Satelliten, Drohnen, Fächerecholot, Hyperspektral).

1. Satellitengestützte Klassifikation (Optisch)

Es wurde eine sensor-agnostische Pipeline entwickelt, die Machine Learning (ML) und Explainable AI (XAI) kombiniert.

- **Sensor-Vergleich:** Sentinel-2 Daten (10x10m) erwiesen sich als ausreichend für aggregierte Metriken, während Pléiades-1 Daten (0,5x0,5m) notwendig sind, um Habitatfragmentierung präzise zu erfassen.
- **Deep Learning:** Zur Überwindung der Grenzen bei der räumlichen Skalierung wurde ein "Fully Connected Neural Network" (FCN) entwickelt, das besonders im Flachwasser (<4m) hohe Genauigkeit zeigt.
- **Zeitreihenanalyse:** Durch Transfer Learning auf Pléiades-Neo Daten konnte erstmals eine hochaufgelöste Zeitreihe (2022–2024) jährlicher Veränderungen von Seegraswiesen erstellt werden.
- **Korrekturverfahren:** Entwicklung einer KI-basierten Vorverarbeitungsmethode zur Entfernung von "Wave Glint"-Effekten, die besonders bei hochauflösenden Daten (0,5m) problematisch sind.

2. Hydroakustische Klassifikation (Akustisch)

Für tiefere oder trübe Gewässer wurden Fächerecholotdaten (Multibeam Echosounder - MBES) genutzt.

- **Algorithmus:** Einsatz und Weiterentwicklung eines Algorithmus zur Klassifikation von Punktwolken mittels Random-Forest.
- **Erweiterung:** Der Algorithmus wurde um die Klasse "Steine" erweitert und durch einen Multiskalen-Ansatz sowie Parallelisierung optimiert, um große Datenmengen effizient zu verarbeiten.

3. Datenfusion und Habitatmodellierung

Ein wesentlicher Erfolg war die Verschneidung der optischen und akustischen Daten.

- **Fusion:** Im Überlappungsbereich zeigten die Klassifikationen von Pléiades-Neo und MBES eine bemerkenswert hohe Übereinstimmung, was die Erstellung lückenloser Karten entlang des gesamten Tiefengradienten ermöglicht.
- **Habitatmodell:** Entwicklung eines Modells basierend auf 25 Parametern (biologisch, chemisch, geologisch), das die Seegrasverteilung in vier Bedeckungsklassen mit 10m Auflösung vorhersagt. Dies ermöglicht auch die Identifikation geeigneter Gebiete für Wiederaufforstung.

4. Ausblick

Die entwickelten Methoden werden im Nachfolgeprojekt ZOBLUC (Start Frühjahr 2025) weitergeführt, mit dem Ziel, die Verfahren in ein operationelles Monitoringsystem für Behörden zu überführen.

Zusammengefasst, in diesem Anwendungsfall haben wir Folgendes erstellt:

- Sammlung und Analyse großflächiger Daten zu marinen Lebensräumen (z. B. Kartierung von Seegras).
- Training von KI-Modellen zur Unterstützung der Klassifizierung und Überwachung von Lebensräumen.

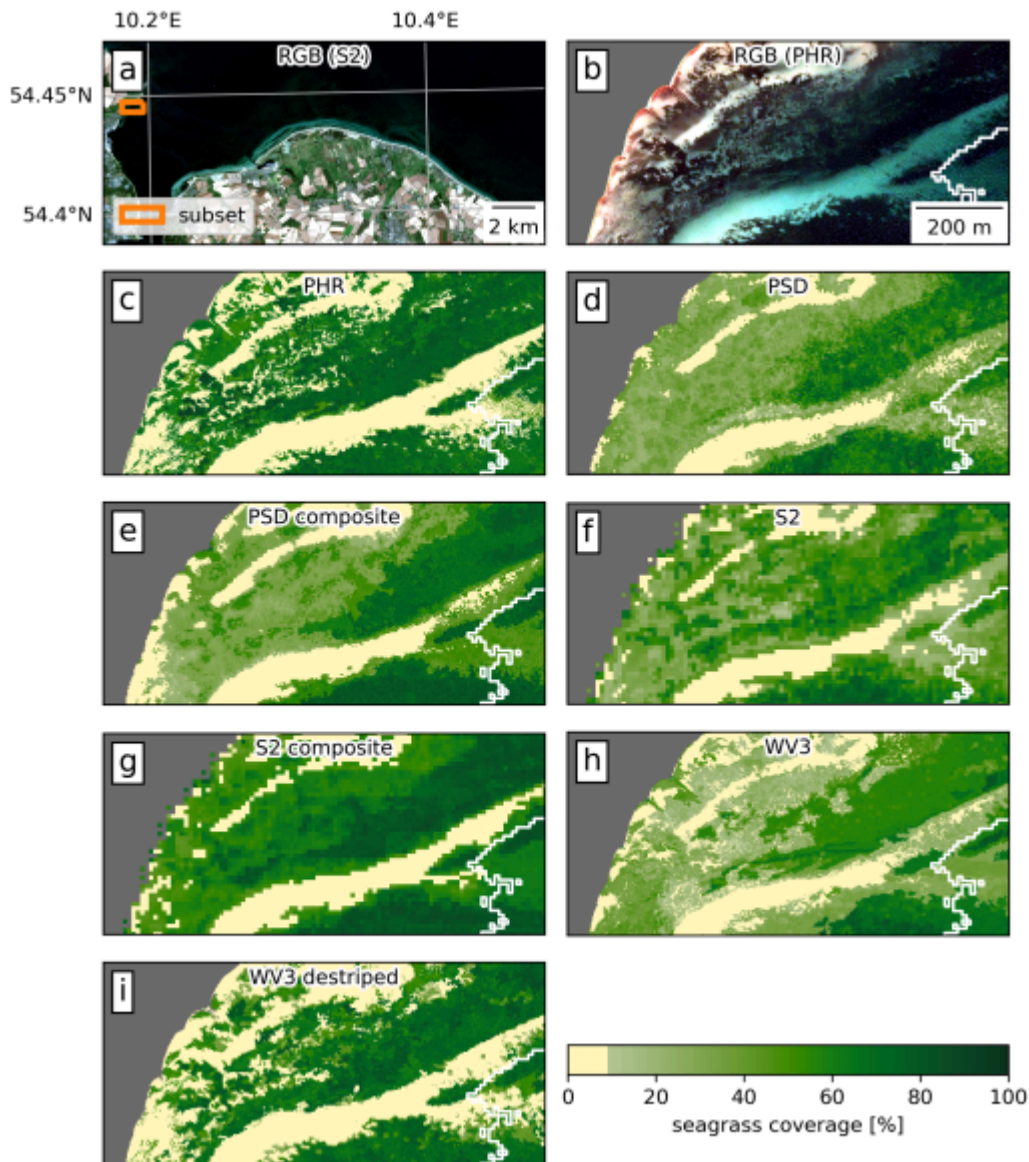


Abbildung 4 - Effekt der räumlichen Auflösung auf das Klassifikationsergebnis. PHR: Pléiades-1. PSD: Planet SuperDove. PSD composite: Zeitliches Komposit über die Sommermonate von PSD. S2: Sentinel-2. WV3: WorldView-3. WV3 destriped: WV3 mit zusätzlicher Entfernung von Streifenartefakten. Für weitere Details siehe Schütt et al. 2025.

6.3 Entwicklung der Architektur und von Geschäftsmodellen:

- Bereitstellung einer offenen, modularen Architektur für maritime Datenräume, die sich an den Gaia-X- und IDS-Prinzipien orientiert.
- Entwicklung von Prototypen für Geschäftsmodelle für Datenmarktplatzdienste und maritime Analysetools.

6.4 Quantitative Ergebnisse auf einen Blick:

- Integrierte Datenquellen: 15+ (einschließlich schiffsbasierter Sensoren, Offshore-Plattformen, mariner Lebensräume).
- Verarbeitete Daten: ~10 TB über die Anwendungsfall-Demonstratoren hinweg.

- Latenz bei der Edge-Verarbeitung: ~150 ms für ausgewählte IoUT-Tests.
- Veröffentlichte Open-Source-Komponenten: 5 zentrale Tools (Verarbeitungsvorlagen, Katalogerweiterungen).

KAPITEL 7: VERGLEICH MIT DEN URSPRÜNGLICHEN ZIELEN

Ziel	Erreicht?	Kommentare
Gaia-X-konforme Infrastruktur	Ja	Cloud-, Edge- und Fog-Ebenen mit föderierten Diensten geliefert; Verzögerungen bei GXFS wurden abgemildert.
Föderierte Identität, Vertrauen, Souveränität	Ja (mit Anpassungen)	Verfügbare Komponenten integriert; Übergangslösungen füllten externe Lücken.
Demonstratoren für Anwendungsfälle (IoUT, Wind, Munition, Bio)	Ja	Alle Anwendungsfälle lieferten funktionale Demonstratoren mit realen Daten.
Geschäftsmodell- und Verwertungskonzepte	Ja (Teilweise)	Modelle definiert; Markteintrittsbereitschaft in Schlüsselbereichen hergestellt.
Ausrichtung an Gaia-X-Prinzipien	Ja	Offenes, modulares, föderiertes, auf Souveränität ausgerichtetes Design.

Tabelle 1. Vergleichstabelle zur Darstellung der Erfolge

KAPITEL 8: VERWERTUNGSPLAN

Marispace-X wurde nicht als isoliertes F&E-Projekt konzipiert, sondern als ein Sprungbrett für die Schaffung eines realen, nachhaltigen Mehrwerts im maritimen Sektor. Unser Verwertungsplan baut auf den technischen Ergebnissen, Demonstratoren und Geschäftskonzepten auf, die im Laufe des Projekts entwickelt wurden, und zielt darauf ab, öffentliche Investitionen in eine langfristige Wirkung umzuwandeln.

Name des Vordergrunds	<i>IONOS S3-Erweiterung für den Eclipse Dataspace Connector</i>
Art des Vordergrunds	<i>Software und code</i>
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	<i>IONOS S3-Erweiterung, die mit dem Eclipse Dataspace Connector zusammenarbeitet und Operationen im IONOS S3-Speicher ermöglicht. Der Code ist auf Github als Open-Source verfügbar - Link</i>
Eigentümer des Vordergrunds	<i>IONOS, OpenSource</i>
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	<i>Unterstützung bei der Integration von S3 mit dem EDC</i>
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	<i>Ja</i>
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	<i>Der Open-Source EDC-Konnektor edc-ionos-s3 wird weiterhin aktiv verwaltet und gewartet.</i>
Wann wird der Vordergrund verwertet?	<i>Mitte 2025 bis 2027</i>

Tabelle 2: Verwertungstätigkeiten für IONOS

Name des Vordergrunds	Integration von Data-Space-Technologie in die Plattform
Art des Vordergrunds	Technologie, Architektur, Prototypen
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	Es wurden Prototypen entwickelt und Komponenten erweitert, die zusätzliche Funktionen und Merkmale zur TrueOcean Plattform hinzufügen. Die Data-Space-Architektur wird angepasst und integriert.
Eigentümer des Vordergrunds	north.io

Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Mehrwert schaffen. Das Architekturmuster und die Prototypen können als Blaupause für die Implementierung eines föderierten Katalogs dienen. Sie liefern ein allgemeines Konzept, um die Datenverarbeitung nach Gaia-X-Standards in Datenräume zu übertragen.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Architektur wird an die Bedürfnisse von north.io angepasst. Dienste und Muster werden ebenfalls angepasst und in die TrueOcean-Plattform implementiert.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	In den nächsten 2 bis 3 Jahren.

Tabelle 3: Verwertungstätigkeiten für north.io

Name des Vordergrund	Integration von Datenraum-Technologie in die Plattform
Art des Vordergrund	Technologie, Architektur, Prototypen
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Es wurden Prototypen entwickelt und Komponenten erweitert, die zusätzliche Funktionen und Merkmale zur TrueOcean-Plattform hinzufügen. Die Datenraum-Architektur wird angepasst und integriert.
Eigentümer des Vordergrund	TrueOcean
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Die Architektur wird an die Bedürfnisse von north.io angepasst. Dienste und Muster werden ebenfalls angepasst und in der TrueOcean-Plattform implementiert.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Architektur wird an die Bedürfnisse von north.io angepasst. Dienste und Muster werden ebenfalls angepasst und in der TrueOcean-Plattform implementiert.

Wann wird der Vordergrund verwertet?	In den nächsten 2 bis 3 Jahren.
--------------------------------------	---------------------------------

Tabelle 4: Verwertungstätigkeiten für TrueOcean

Name des Vordergrund	Beiträge zur Stackable Datenplattform
Art des Vordergrund	Software und Code (Prototypen)
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Es wurden Prototypen entwickelt und Komponenten verbessert, die der Stackable Data Platform, der souveränen Open-Source-Distribution für Datenmanagement und -analyse, zusätzliche Merkmale und Funktionen hinzufügen. Beispiele: - Stackable Operator für Apache Spark - Stackable Operator für Apache Airflow - OPA Authorizer für Apache Airflow
Eigentümer des Vordergrund	Stackable (Open Source)
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Die Komponenten stärken die Datenverarbeitungs- und Daten-Pipelining-Fähigkeiten der Stackable Datenplattform. Sie fügen der Plattform mehrere Sicherheitsfunktionen wie Single Sign-On und richtlinienbasierte Zugriffskontrolle hinzu.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Komponenten ergänzen die Stackable Data Platform und erweitern ihre Fähigkeiten. Sie werden als Teil des Softwareprodukts weiterentwickelt und gewartet und als Teil seiner Releases ausgeliefert. Der entwickelte Quellcode wurde quelloffen gemacht, und kommerzieller Support ist über kommerzielle Support-Abonnements erhältlich, die über die direkten und indirekten Vertriebskanäle von Stackable vertrieben werden.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Bereits in Gebrauch

Table 5a: Exploitation activities for Stackable

Name des Vordergrund	Analysedienste für Gaia-X Datenräume
Art des Vordergrund	Systemarchitektur und Prototyp
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Architekturmuster und Prototypen zur Einrichtung föderierter Dienste wie eines föderierten Katalogs oder von Identitäts- und Vertrauenskomponenten zum Aufbau von Datenräumen, zur Integration von Datenverarbeitung oder KI-Algorithmen

	als Dienst in diese Datenräume gemäß Gaia-X-Standards.
Eigentümer des Vordergrund	Stapelbar (Open Source)
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Das Architekturmuster und die Prototypen können als Blaupause dienen, wie ein föderiertes Verzeichnis oder eine integrierte Identitäts- und Vertrauensschicht für Datenräume implementiert werden kann. Sie bieten ein allgemeines Konzept, um Datenverarbeitungs- und KI-Algorithmen als Datendienste gemäß Gaia-X-Standards in Datenräume zu übertragen.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Nein / Vielleicht
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Gaia-X-konformen Muster für Datenverarbeitungsinfrastrukturen können in weiteren Datenraumprojekten verwendet werden. Aktuell ist Stackable nicht Teil eines solchen Projekts.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Abhängig von weiteren Datenraumprojekten. SSI-basierte Sicherheitskonzepte werden genutzt, sobald sie eine breitere Akzeptanz in der Industrie finden.

Tabelle 5b: Verwertungsaktivitäten für Stackable

Name des Vordergrund	KI-Methoden zur Unterwasserbildanalyse
Art des Vordergrund	Open-Access-Quellcode
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Algorithmen zur effizienten und effektiven Bilddatenverarbeitung auf Edge-, Fog- und Cloud-Geräten für die Bewertung der Bilddatenqualität, 3D-Rekonstruktion sowie KI-basierte Objekterkennung und -klassifizierung.
Eigentümer des Vordergrund	GEOMAR
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Wissenschaftlicher Fortschritt, Lizenzierungsmöglichkeiten
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja – die Methoden werden aktiv über die Technologietransfer-Abteilung des GEOMAR beworben.
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die KI-Methoden werden als Datenverarbeitungsdienst, als lizenzierbarer Quellcode mit Anwendersupport sowie als reine Supportleistung zur Anpassung der Methoden an spezifische Kundenbedürfnisse angeboten.

Wann wird der Vordergrund verwertet?	Wird bereits beworben.
--------------------------------------	------------------------

Tabelle 6a: Verwertungsaktivitäten für GEOMAR

Name des Vordergrund	FAIR-Bilddatenstandards
Art des Vordergrund	Open-Access-Quellcode, praxisnahe Open-Access-Dokumentation und Standardarbeitsanweisungen (SOPs), Metadatenschemata und begleitender Quellcode
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Metadatenschemata zur FAIR-konformen Gestaltung mariner Bilddaten, kombiniert mit Quellcode und Kuratierungswerkzeugen. Dies ermöglicht die Implementierung von FAIR-Bilddaten-Workflows direkt von der Erfassung über die Datenverarbeitung (z. B. Qualitätskontrolle, Datenfusion) bis hin zur Veröffentlichung.
Eigentümer des Vordergrund	GEOMAR
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Robuste Datensätze (z. B. für KI-Anwendungen)
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja – die Methoden werden durch weitere Forschungsaktivitäten aktiv weiterentwickelt, was zu Anschlussfinanzierungen und Vernetzungsaktivitäten mit Forschungs- und Industriepartnern (einschließlich Kameraherstellern) führt.
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	FAIR-Daten sind essenziell für robuste und vertrauenswürdige KI-Anwendungen. Daher liegt es im Interesse des GEOMAR, die Metadatenschemata global an alle Ersteller von Bilddaten zu verbreiten.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Laufend.

Tabelle 6b: Verwertungsaktivitäten für GEOMAR

Name des Vordergrund	Datenmanagementsystem
Art des Vordergrund	Infrastruktur

Kurzbeschreibung des Vordergrund	Mit der Inbetriebnahme des Digital Ocean Lab ist das Fraunhofer IGD sowohl Produzent als auch Konsument von Daten. Das für Marispace-X geschaffene Forschungsdatenmanagementsystem ermöglicht die Verwaltung von Datensätzen.
Eigentümer des Vordergrund	Fraunhofer IGD
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Nachhaltige Nutzung von Datensätzen
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die nachhaltige Nutzung von Datensätzen ermöglicht es dem Fraunhofer IGD und seinen Partnern, in vielen Projekten effizienter zu arbeiten, da Daten effektiver wiederverwendet werden können und möglicherweise nicht einmal neu erhoben werden müssen.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	bereits in Gebrauch

Tabelle 7: Verwertungsaktivitäten für Fraunhofer IGD

Name des Vordergrund	Projektskizze
Art des Vordergrund	Textdokument
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Vorläufige Skizze eines neuen Projektantrags mit CAU Kiel Marine Science und GEOMAR als Hauptbeteiligte
Eigentümer des Vordergrund	CAU Kiel
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Weitere Nutzung und Entwicklung der in Marispace-X entwickelten neuen Methoden
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Ergebnisse von Marispace-X werden genutzt, um darauf aufbauende neue Methoden weiterzuentwickeln. Dies ermöglicht es, sich von Anfang an auf komplexe Forschungsfragen zu konzentrieren.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Aktueller Stand der Arbeiten

Tabelle 8a: Verwertungsaktivitäten der Universität Kiel

Name des Vordergrunds	Ca. 10 wissenschaftliche Publikationen unter Open Access
Art des Vordergrunds	Wissenschaftliche Publikationen
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	Die Ergebnisse von Marispace-X werden für neue Publikationen verwendet.
Eigentümer des Vordergrunds	CAU Kiel
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	Erhöhte Sichtbarkeit der Ergebnisse und der beteiligten Partner.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Ergebnisse der Projekte sind leicht verfügbar und werden daher für zusätzliche Publikationen verwendet. Bis Juli 2025 wurden bereits 18 Publikationen angenommen und veröffentlicht, womit das gesetzte Ziel übertroffen wurde.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Projektende + 1 Jahr

Tabelle 8b: Verwertungsaktivitäten der Universität Kiel

Name des Vordergrunds	Vorbereitung von Spin-Offs
Art des Vordergrunds	Spin-Off
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	Methoden und Konzepte mit potenziellen Geschäftsszenarien werden genutzt, um Spin-Off-Unternehmen zu gründen.
Eigentümer des Vordergrunds	CAU Kiel
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Nein
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Ergebnisse konzentrierten sich auf wissenschaftliche Konzepte und Grundlagenforschung. Adäquate Geschäftsszenarien für potenzielle Spin-Offs wurden noch nicht identifiziert.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	-/-

Tabelle 8c: Verwertungsaktivitäten der Universität Kiel

Name des Vordergrund	Zwei neue Kooperationen mit internationalen Universitäten
Art des Vordergrund	Wissenschaftliche Zusammenarbeit
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Neue Kooperationen werden mit anderen Universitäten geschlossen, um neue potenzielle Forschungsfelder durch Nutzung symbiotischer Effekte zu erschließen.
Eigentümer des Vordergrund	CAU Kiel
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Solche Kooperationen ermöglichen die Vorbereitung neuer wissenschaftlicher Projekte und den Wissenstransfer zwischen den teilnehmenden Mitgliedern, wodurch die Ergebnisse der Projekte verwertet werden.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Ergebnisse von Marispace-X bieten eine hervorragende Plattform für weitere Forschung, die mit internationalen Partnern genutzt werden kann. Derzeit sind neue Projekte in Zusammenarbeit mit dem Athena Research Center, der Aalborg University, der University of Southern California, der University of Hongkong, der University of Minnesota und der Singapore Management University geplant.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Projektende + 2 Jahre

Tabelle 8d: Verwertungsaktivitäten der Universität Kiel

Name des Vordergrund	Internationale Verbindungen
Art des Vordergrund	Netzwerkverbindung
Kurzbeschreibung des Vordergrund	Verbindung zu Unternehmen innerhalb und außerhalb der EU, um sich zu den Themen KI in Ozeantechnologien zu vernetzen
Eigentümer des Vordergrund	Uni Rostock, Fraunhofer IGD
Erwarteter Nutzen des Vordergrund	Weitere Kooperationen, neue Forschungsthemen
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja

Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Regelmäßige Netzwerkveranstaltungen.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Laufend

Tabelle 9a: Verwertungsaktivitäten der Universität Rostock

Name des Vordergrunds	8 Veröffentlichungen
Art des Vordergrunds	Wissenschaftliche Veröffentlichungen
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	8 Veröffentlichungen im Bereich KI für Meerestechnologien oder digitale Ökosystemarchitektur.
Eigentümer des Vordergrunds	Uni Rostock, Fraunhofer IGD
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	Veröffentlichungen, die dazu dienen, die in Marispace-X erzielten Ergebnisse der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu präsentieren
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Weitere Sammlung der Ergebnisse von Marispace-X zur Erstellung von Veröffentlichungen
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Projektende + 1 Jahr

Tabelle 9b: Verwertungsaktivitäten der Universität Rostock

Name des Vordergrunds	Geschäftsmodell-Prototyp
Art des Vordergrunds	Prototyp des Geschäftsmodells eines digitalen Ökosystems
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	Der Prototyp für ein digitales Ökosystem wurde als Meilenstein in Marispace-x generiert
Eigentümer des Vordergrunds	Universität Rostock
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	Ein besseres Verständnis der Anforderungen an ein digitales Ökosystem, um Dienstleistungen anbieten zu können
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja

Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Die Ergebnisse können als Grundlage dienen, um digitale Ökosysteme zu beschreiben und auf Gültigkeitskriterien zu überprüfen. Die Forschung wird in anderen Projekten fortgesetzt, um neue Forschungsideen zu generieren.
Wann wird der Vordergrund verwertet?	2030

Tabelle 9c: Verwertungsaktivitäten der Universität Rostock

Name des Vordergrunds	Anwendungen der Fernerkundungs-Computer-Vision
Art des Vordergrunds	Spezifische Forschungsergebnisse
Kurzbeschreibung des Vordergrunds	Forschungsergebnisse der Fernerkundung wurden generiert und als Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Artikel präsentiert. Dies ist eine der vielen Grundlagen, um an der Universität Rostock Anwendungen und Forschungsthemen im Bereich der computergestützten maritimen Fernerkundung zu starten
Eigentümer des Vordergrunds	Uni Rostock
Erwarteter Nutzen des Vordergrunds	Neue Forschungsprojekte und Kooperationen zwischen verschiedenen Universitäten. Verbesserung des Stands der Technik bei Computer-Vision-Fernerkundungsanwendungen.
Wird der Vordergrund nach Projektende weiter verwertet?	Ja
Erläuterung des Verwertungsplans / Grund für die Nicht-Verwertung	Forschungsprojekte gemeinsam mit Fachexperten durchführen
Wann wird der Vordergrund verwertet?	Laufend

Tabelle 9d: Verwertungsaktivitäten für die Universität Rostock

Zusammenfassung mit allen Partnern:

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Beiträge zur Stackable Datenplattform	Seit 2025
2	Datenmanagementsystem von Fraunhofer IGD	Seit 2025
3	Anwendungen der Fernerkundungs-Computer-Vision	Seit 2025
4	KI-Methoden zur Unterwasserbildanalyse	Seit 2025

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
5	Open-Source EDC-Konnektor edc-ionos-s3 wird weiterhin verwaltet werden.	Seit 2025
6	Interne Verwertung von Technologie für interne Prozesse – Dataräume Management	Ab Jahr 2026
7	Bereitstellung von Dataräume-Diensten für europäische Kunden im Maritime Umfeld zusammen mit Partner	Ab Jahr 2026
8	Zwei neue Kooperationen mit internationalen Universitäten; Zusammenarbeit mit Forschungspartnern, um die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Unterstützung der Europäische Dataräume in anderen Sektoren	Projektende + 2 Jahre
9	Integration von Data-Space-Technologie in die True Ocean Plattform	In den nächsten 2 bis 3 Jahren
10	Geschäftsmodell-Prototyp	2030

Tabelle 10 – Übersicht über alle kommerziellen Pläne der Partner

KAPITEL 9: HERAUSFORDERUNGEN UND PROJEKTÜBERGREIFENDE ERKENNTNISSE

Marispace-X wurde als ambitioniertes, zukunftsorientiertes Projekt konzipiert. Wie bei wegweisenden Arbeiten oft der Fall, sahen wir uns Herausforderungen gegenüber, die unsere Widerstandsfähigkeit, Kreativität und Anpassungsfähigkeit auf die Probe stellten. Dieser Abschnitt reflektiert diese Herausforderungen, die daraus gewonnenen Erkenntnisse und unsere Vision, auf den Projekterfolgen aufzubauen.

9.1 Externe Abhängigkeiten: Verzögerungen und Reifegrade von Gaia-X Federation Services (GXFS)

Eine der größten Herausforderungen war die Abhängigkeit von externen Komponenten aus der breiteren Gaia-X-Initiative. Während Marispace-X eng an den Gaia-X-Prinzipien ausgerichtet war und die offiziellen Federation Services integrieren sollte, waren diese Komponenten entweder später als geplant verfügbar oder nicht reif und stabil genug für den produktiven Einsatz. Dies betraf insbesondere die vertrauensbezogenen Dienste wie Operational Compliance Management (OCM) und Personal Consent Management (PCM). Dies beeinträchtigte die Integrationsarbeit in AP2 (Föderierte Dienste & Kataloge), AP3 (Edge/Fog Föderation) und AP4 (SaaS-Anwendungsebene). Wir haben darauf reagiert, indem wir eine stabile Version des föderierten Katalogs „gepinnt“ und interne Workarounds wie Mock-ups und angepasste Open-Source-Komponenten entwickelt haben, um die Funktionalität sicherzustellen.

9.2 Partneraustritt

Die MacArtney Germany GmbH, ursprünglich für wesentliche Teile von Anwendungsfall I (Maritimes Testfeld) verantwortlich, schied Anfang 2023 aus dem Konsortium aus. Dies führte zu Lücken in den AP5-Aufgaben zur Planung und Integration von Unterwassersensornetzwerken. Als Korrekturmaßnahme wurden die Aufgaben an bestehende Partner (Fraunhofer IGD, North.io, IONOS) neu verteilt und der technische Umfang des Demonstrators optimiert, um weiterhin eine aussagekräftige Validierung der Architektur zu gewährleisten.

9.3 Komplexität der domänenübergreifenden Integration

Marispace-X zielte darauf ab, mehrere Domänen zu verbinden: maritime Operationen, Offshore-Energie, Umweltschutz und digitale Dienste. Dies erforderte die Harmonisierung einer Vielzahl von Datenformaten, Protokollen und Anforderungen der Stakeholder. Die Bewältigung dieser Komplexität erforderte einen größeren Aufwand bei der Standardisierung, Datenmodellierung und Metadaten-Harmonisierung als ursprünglich erwartet. Wir haben dies durch die Entwicklung und gemeinsame Nutzung von Datenmodellen und Vorlagen sowie durch eine verstärkte kollaborative Designarbeit gelöst.

9.3 Timing und Koordination über Arbeitspakete hinweg

Die Koordination der technischen Arbeit über mehrere Arbeitspakete hinweg, von denen jedes von gemeinsamen Architekturelementen oder externen Komponenten abhing, führte zu Komplexität – insbesondere bei Verzögerungen in einem Bereich. Wir haben dies durch ein starkes, agiles Projektmanagement mit häufigen Abstimmungen, Neuentwicklungs-Sitzungen und offener Kommunikation angegangen. Eine technische Lenkungsgruppe war zudem in der Lage, Abhängigkeiten schnell zu lösen und Prioritäten anzupassen.

KAPITEL 10: AUSBLICK UND FORTFÜHRUNG

Marispace-X hat eine robuste Grundlage für kontinuierliches Wachstum und die Verwertung der Projektergebnisse geschaffen. Die Verwertungsstrategie zielt darauf ab, die im Projekt generierten öffentlichen Investitionen in einen nachhaltigen und langfristigen Mehrwert zu überführen.

- **Fortsetzung der Plattformentwicklung:** IONOS, North.io und weitere Partner sind entschlossen, die Marispace-X-Architektur in kommerzielle Angebote zu überführen, die sich an Kunden in den Bereichen Schifffahrt, Offshore-Energie und Umweltmonitoring richten.
- **Vertiefung der Gaia-X-Integration:** Mit der fortschreitenden Reife der GXFS-Komponenten wird die Plattform diese Dienste umfassender integrieren, um eine tiefere und sicherere Ausrichtung an den europäischen Datensouveränitätsstandards zu gewährleisten.
- **Marktpilotprojekte:** Die im Rahmen von Marispace-X demonstrierten Anwendungsfälle bilden die Grundlage für einen initialen Markteintritt. Zum Beispiel können Betreiber von Offshore-Windparks die Plattform für integrierte Überwachung und Analysen nutzen, während Umweltbehörden die Tools zur Munitionsdetektion und Lebensraumkartierung einsetzen können.
- **Weitere Finanzierung und Partnerschaften:** Das Konsortium prüft Folgefinanzierungen (z. B. Horizon Europe, nationale Initiativen), um die Plattform zu skalieren und international zu etablieren.

Vor allem hinterlässt Marispace-X ein bleibendes Vermächtnis:

- Ein funktionierender Prototyp eines maritimen Datenraums, der an europäischen Werten ausgerichtet ist.
- Ein klarer Weg zur Datennutzung, der Nachhaltigkeit, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit unterstützt.
- Ein gelebtes Beispiel dafür, wie öffentliche Förderung durch technische Exzellenz und kollaborativen Geist einen nachhaltigen Wert schaffen kann.
- Die geschaffenen Demonstratoren werden für den operationellen Einsatz weiterentwickelt und in ihren erwarteten Prozessen validiert, bevor sie in größerem Maßstab eingesetzt werden können.

KAPITEL 11: MEHRWERT DES MARISPACE-X-PROJEKTS

Marispace-X schafft einen signifikanten Mehrwert für eine Reihe von Zielgruppen und Bereichen:

- Für den maritimen Sektor: Durch die Bereitstellung eines sicheren, souveränen und interoperablen digitalen Rückgrats, das Innovation, Effizienz und Umweltverantwortung fördert.
- Für Deutschlands und Europas Ziele zur digitalen Souveränität: Durch die Demonstration praxisnaher Anwendungen der Gaia-X-Prinzipien in einem kritischen Sektor.
- Für den wissenschaftlichen Fortschritt: Durch neue Methoden zur Integration, Verarbeitung und Analyse komplexer maritimer Datensätze.
- Für die Gesamtwirtschaft und die Gesellschaft: Durch die Ermöglichung einer besseren Umweltüberwachung, die Unterstützung der Energiewende und die Schaffung einer Grundlage für neue datengesteuerte Geschäftsmodelle.

Zusammenfassend zeigt Marispace-X, wie öffentliche Innovationsförderung nicht nur technische Durchbrüche katalysieren, sondern auch nachhaltige wirtschaftliche und gesellschaftliche Vorteile schaffen kann.

KAPITEL 12: ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSFOLGERUNG

Das Marispace-X-Projekt war eine wegweisende Initiative, die erfolgreich den Kernauftrag erfüllte, einen föderierten, Gaia-X-konformen maritimen Datenraum zu schaffen. Trotz signifikanter Herausforderungen wie dem Austritt eines Partners und der verzögerten Bereitstellung von Gaia-X-Vertrauenskomponenten, hat das Konsortium durch agile Anpassungen und technische Exzellenz alle Projektziele erreicht.

Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts sind die Bereitstellung einer modularen Cloud-Infrastruktur, die Integration föderierter Dienste und die erfolgreiche Demonstration von vier realen Anwendungsfällen. Diese Leistungen bilden eine belastbare Grundlage, die weit über die Projektlaufzeit hinausreicht.

Marispace-X liefert eine entscheidende Blaupause für das maritime Datenökosystem und schafft ein sicheres, souveränes und interoperables digitales Rückgrat. Das Projekt ist ein lebendiges Beispiel dafür, wie öffentliche Fördermittel nicht nur technische Durchbrüche katalysieren, sondern auch einen nachhaltigen Wert für Europas digitale Souveränität, die Wirtschaft und die Gesellschaft schaffen können. Die Projektergebnisse bilden somit eine robuste Basis für zukünftiges Wachstum, die Verwertung und die weitere Integration in das sich entwickelnde Gaia-X-Ökosystem.