Schlussbericht zum Teilprojekt

Echtzeit 3D Daten(vor)verarbeitung zur Punktwolkenvisualisierung eines selbstkalibrierenden Unterwasser 3D Scanners

Laufzeit 15.10.2019 - 28.02.2023
FKZ: 03SX482B

Im Verbundvorhaben: UW-Sensor

Entwicklung eines auf Projektion strukturierter Lichtmuster basierenden echtzeitfähigen Unterwasser-3DSensors

Förderkennzeichen: 03SX482B
Zuwendungsempfänger: 3plusplus GmbH
Projektleiter: Anja Baumann (Autor des Berichts)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03SX482B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis II

1 Kurzdarstellung des Teilvorhabens 1

1.1 Aufgabenstellung 1

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 2

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 2

1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand, an den angeknüpft wurde 3

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 3

2 Eingehende Darstellung 4

2.1 Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse 4

2.1.1 Arbeitspaket 1: Technische Koordination 4

2.1.2 Arbeitspaket 2: Konzeptentwicklung und Implementierung Sensor 4

2.1.3 Arbeitspaket 3: 2x Offshore-Datenerhebung 5

2.1.4 Arbeitspaket 4: Entwicklung und Implementierung der Algorithmen 8

2.1.5 Arbeitspaket 6: Offshore Test 13

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 13

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 14

2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans 14

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen 14

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse 14

3 Erfolgskontrollbericht 15

4 Kurzfassung – Berichtsblatt 15

5 Anhang 15

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der 3++-Applikation im Kontext der Gesamtanwendung....1

Abb. 2: Geplante (blau) und tatsächlich (gelb) bearbeitete Arbeitspakete anhand des Balkenplans hinsichtlich der zeitlichen Dauer....3

Abb. 3: Entwurf der Realisierung eines Live-Videostreamings....4

Abb. 4: Original Webcam-Aufnahme (oben links) vom Riff Nienhagen zur Anwendung der drei Algorithmen hinsichtlich der Farbbildkorrektur....6

Abb. 5: Finale Ansicht in der UW-Sensor-App einer Unterwasser Szene vom Riff Nienhagen unter Anwendung der Farbkorrekturen....7

Abb. 6: Ausschnitt des Menüs der Sensor-App (aktuell ausgewählter, aktivierter Button ist blau dargestellt)....8

Abb. 7: Button zur Durchführung der Calibration....10

Abb. 8: Visualisierung der 2D/3D-Daten in der ROV-Anwendung mit reduzierter, an die Benutzerrolle angepasste Menü-Auswahl....11

Abb. 9: Schematische Darstellung der Projektarchitektur zur Realisierung der Web-Anwendung....12

Abb. 10: Visualisierung eines Datensatzes aus der See-Erprobung im Potree Viewer der Web App (EJS-Frontend)....13

Abb. 11: Tabellarische Organisation in der Web App (Filterfunktionen)....15

Abb. 12: Tabellarische Organisation in der Web-App (Konfigurationen, Thumbnails)....16

Abb. 13: Alte GUI der Sensor-App mit den links angeordneten Menüelementen....16

Abb. 14: Finale Sensor-App nach dem Redesign....17

1 Kurzdarstellung des Teilvorhabens

Das Ziel des Teilvorhabens war es, das Projekt hinsichtlich der Algorithmen und 3D-Datenübertragung mit performanten Methoden zu unterstützen, um eine schnelle, möglichst noch vor Ort und unverzüglich erfolgende Datenauswertung zu realisieren. Außerdem sollten die gewonnen Daten geeignet visualisiert werden, um dem Betrachter die aufgenommene Szene anschaulich präsentieren zu können.

1.1 Aufgabenstellung

Die Datenakquise und die Steuerung, des auf Musterprojektion basierenden Unterwasser-3D-Sensors, erfolgte über die vom Fraunhofer IOF entwickelte 3D-Sensor API. Eine maßgeblich umzusetzende Anforderung war die visuelle Darstellung eines latenzarmen Livestreams der Farbkamera sowie der generierten Punktwolken.

Für die Latenzbetrachtung wurden unterschiedliche zeitliche Einflussfaktoren, wie Datentransferraten per LAN, WLAN und die Auswirkungen diverser Software-Anwendungen sowie hardwarebasierte Aspekte untersucht. Die unterschiedlichen Varianten wurden getestet und bewertet, so dass die performanteste Software-Lösung durch eine 3++-Desktop-Applikation für die Ausführung auf der IOF-Workstation (wie in Abb. 1 gezeigt) zielführend entwickelt wurde.

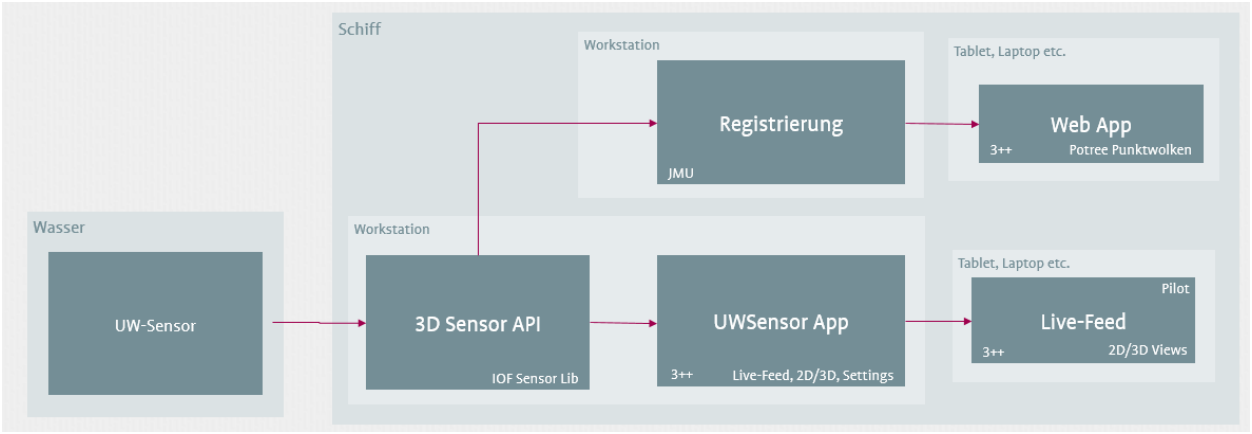

Abb. 1: Schematische Darstellung der 3++-Applikation im Kontext der Gesamtanwendung

In enger Abstimmung mit den Partnern wurden Anwendungsfälle und -abläufe, Grundfunktionalitäten sowie eine bedienerfreundliche Anwendungssoftware entwickelt. Themenschwerpunkte, wie bespielweise Kompressionsverfahren, bildbasierende Algorithmen und Methoden zur Punktwolkenvisualisierung, wurden er- und bearbeitet und für die Anwendung entwickelt. Die unterschiedlichen Entwicklungsstadien wurden abseits der IOF-Workstation in einer 3++-Simulationsumgebung getestet und iterativ auf das IOF-Zielsystem im Labor in Betrieb genommen. Durch praxisnahe Anwendungstests in Würzburg wie auch Ilmenau konnte die Applikation sukzessive weiterentwickelt und für den finalen Nearshore-Einsatz in der Ostsee am Forschungsriff Nienhagen erfolgreich demonstriert werden.

Neben dieser Applikation wurde zusätzlich eine browserbasierte Applikation entwickelt, um vom Partner JMU registrierte Gesamtmodelle aufzubereiten und zu visualisieren. Eine zeitnahe optische Begutachtung und Bewertung, ggf. durch eine unterstützende Vermessung, ist somit möglich.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Umsetzung der zu entwickelnden Algorithmen, Abläufe und Methoden sollte nach dem Baukastenprinzip der 3++ erfolgen. Bei diesem Prinzip werden Algorithmen mit der Programmiersprache C++ in Bausteine verpackt, die nach Möglichkeit einfach und universell anwendbar sein sollen. Diese Bausteine werden durch das 3++-Entwicklungswerkzeug „Sodello“ und dessen integrierter Programmiersprache zu ausführbaren Anwendungen zusammengestellt.

Eine besondere Eigenschaft des 3++-Entwicklungswerkzeuges ist die Hardwareabstraktion und die damit verbundene Möglichkeit der Virtualisierung von Geräten. Aufbauend auf dieser Funktionalität konnten die relevanten Schnittstellen implementiert und durch virtuelle Geräte frühzeitig simuliert und getestet werden, noch bevor funktionsfähige reale Schnittstellen oder einsatzbereite Hardware der Projektpartner zur Verfügung standen. Im Zuge der pandemischen Lage konnte die Entwicklung abseits des physischen Zugangs zum 3D-UW-Sensors stetig fortgeführt und beispielsweise per Remote-Zugriff die Entwicklungsstände aufgespielt und evaluiert werden.

Für die Bearbeitung der heterogenen, interdisziplinären Aufgaben, wie Programmierung von Algorithmen mittels C++ bzw. Anwendungsentwicklung mit dem Entwicklungswerkzeug „Sodello“ sowie der Web-Entwicklung stand das erforderliche Fachpersonal zur Verfügung.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Bearbeitung des Vorhabens war zu Projektbeginn eine Bearbeitungszeit von 36 Monaten geplant, welche durch die pandemischen Auswirkungen kostenneutral um 6 Monate verlängert werden musste. Seit dem Frühjahr 2020 ergaben sich durch den Einfluss der Corona-Pandemie Verzögerungen, welche sich insbesondere auf die Möglichkeiten der direkten Zusammenarbeit der Partner und der innerbetrieblichen Zusammenarbeit auswirkten. Zudem verzögerten die Warenverfügbarkeit und verlängerte Lieferzeiten die finale Sensorkonzeption und den damit zu realisierenden Aufbau des Labormusters.

Im Rahmen der 3++-Software-Entwicklung konnten bis zu einem gewissen Maß Arbeiten unabhängig von der Hardwareverfügbarkeit durchgeführt werden, welche jedoch final am Zielsystem evaluiert werden müssen. Durch die enge interdisziplinäre und zeitliche Verknüpfung bzw. Abhängigkeit der Arbeiten im Konsortium konnten einige softwarebasierte Entwicklungsthemen nicht vollumfänglich bearbeitet bzw. abgeschlossen werden, so dass sich eine Terminverzögerung von sechs Monaten ergab. Dies zeigt sich auch im Termin des Erreichens des ersten Meilensteins MS1. Dieser wurde durch die erfolgreichen Hardwaretests des Laboraufbaus des UW-Sensors in der KW 29‘21 in Würzburg beim Projektpartner JMU Würzburg erreicht und konnte durch einen weiteren Test beim Fraunhofer IOSB AST in Ilmenau in KW46’21 weiterführend optimiert werden. Geplant war das Erreichen von MS1 laut Arbeitsplan nach 18 Monaten. Dies wäre Ende Februar 2021 gewesen.

Der Arbeitsplan gemäß Abb. 2 zeigt die tatsächlich zeitlich geplanten (blau) und tatsächlich bearbeiteten (gelb) fünf Arbeitspakete der 3++, in die das Vorhaben gegliedert wurde. Das Endedatum der Projektlaufzeit wurde in Absprache mit dem Projektträger und den Projektpartnern auf den 28.02.2023 verlängert und konnte durch den erfolgreichen Test des Sensors an einem Work-Class-ROV in der Ostsee demonstriert werden. In einem Projektabschlusstreffen beim Partner Fraunhofer IOF im Februar 2023 wurden die wesentlichen, erfolgreichen Arbeiten resümierend präsentiert und mittels der Simulationsumgebungen anwendungsnah dem Konsortium demonstriert.

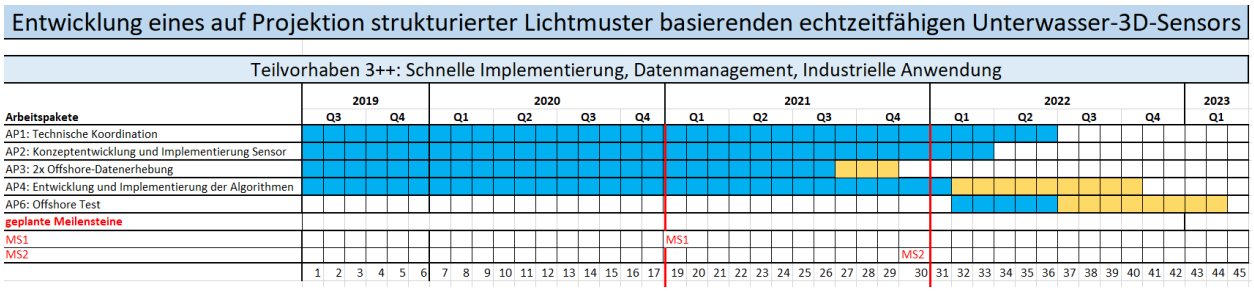

Abb. 2: Geplante (blau) und tatsächlich (gelb) bearbeitete Arbeitspakete anhand des Balkenplans hinsichtlich der zeitlichen Dauer

Weiterhin wurden zur Sicherstellung der erfolgreichen Projektbearbeitung verbundübergreifende wie auch interne Meilensteine definiert, zu denen die Bearbeitung wesentlicher Teilaufgaben bzw. Arbeitspakete überprüft werden konnte.

Die Dokumentation der laufenden und abgeschlossenen Themenschwerpunkte erfolgte halbjährlich in Form von Zwischenberichten, die zwischen den Projektpartnern abgestimmt wurden und dem Projektträger vorliegen.

1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Für die 3D-Datenverarbeitung sowie deren Visualisierung konnte zu Projektbeginn an einen internen Entwicklungsstand angeknüpft werden. Dieser konzentrierte sich auf die merkmalsbezogene Bauteilvermessung. So lag diesbezüglich bereits eine rudimentäre Software-Architektur vor, um einfache 3D-Modelle als auch gemessene 3D-Punktewolken in einer 3D-Ansicht zu visualisieren. Die Daten- bzw. Hardwaregrundlage basierte auf einem Laser-Profilsensor. Die bestehenden Grundfunktionalitäten mussten aufgrund der 3D-UW-Sensor-spezifischen Anforderungen, wie der latenzarmen Datenverarbeitung und performanten Datenvisualisierung, sowie um Kompressionsverfahren, Steuerungs- und Bedienungsabläufe weiterentwickelt werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei den beteiligten Firmen und Forschungspartnern des Verbundvorhabens war das benötigte Know-how für die Entwicklung der Einzeltechnologien vorhanden. Im Rahmen des Vorhabens bot sich die Möglichkeit, durch Kombination dieser Technologien, einen umsetzbaren technologischen Leistungssprung zu erreichen. Dies konnte nur durch intensive und koordinierte Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern erfolgen. Insbesondere die Definition der Schnittstellen bzw. die Funktionsweise und Abhängigkeiten war hinsichtlich der externen Fraunhofer IOF Sensor-API des 3D-Unterwassersensors sowie die Darstellung von post-prozessierten Daten der JMU nur in enger Zusammenarbeit und in engem Austausch zu bewerkstelligen. Tests und Inbetriebnahme des Demonstrators waren in Zusammenarbeit der einzelnen Projektpartner möglich. Diese wurden unter anderem per Fernzugriff sowie im späteren Projektverlauf durch Vor-Ort-Termine zur Software-Installation und -Validierung bewerkstelligt. Mittels realer Wassererprobungen in Würzburg und Ilmenau wurde die Funktionsfähigkeit und Bedienbarkeit des Systems getestet und weitere Optimierungsschritte abgeleitet. Die finale Erprobung unter realitätsnahen Bedingungen fand in der Ostsee statt. Hierbei konnte die praxistaugliche Einsatzfähigkeit aus Hardware und Software erfolgreich demonstriert werden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse

Der Schwerpunkt des Teilvorhabens lag auf der latenzarmen, anwendergerechten Aufbereitung und Visualisierung von 2D- und 3D-Daten, den verarbeiteten Sensordaten und den daraus resultierenden Abhängigkeiten zur Realisierung einer bedienerfreundlichen Applikation. Diese sollten eine schnelle, zeitsparende Inbetriebnahme und intuitive Bedienung eines 3D-UW-Sensors ermöglichen. Um die Transparenz der Unterwasseraktivitäten für on- und offshore beteiligte Partner und mögliche Kunden herzustellen, ist eine zusätzliche Applikation zur Hauptanwendung geplant, die eine parallele in-situ Beobachtung erlaubt.

2.1.1 Arbeitspaket 1: Technische Koordination

In Zusammenarbeit mit den Partnern wurden zu Projektbeginn grundlegende technische Anforderungen sowie das Gesamtkonzept diskutiert, vereinbart und u. a. in einem Lastenheft dokumentiert. In regelmäßigen, vorwiegend virtuellen Meetings zum aktuellen Arbeitsstand sowie zusätzlichen bilateralen oder themenspezifischen Absprachen fand der direkte Austausch statt.

Vor-Ort-Projektmeetings, welche mit dem gesamten Konsortium stattgefunden haben:

- Kick-off Meeting (09‘2019): beim Projektkoordinator SeaRenergy in Hamburg
- Projektmeeting (09‘2020): beim Fraunhofer IOF in Jena
- Projektmeeting & Anwendungstest (07‘2021): bei der JMU in Würzburg
- Projektmeeting & Anwendungstest (11‘2021): bei dem Fraunhofer ISOB in Ilmenau
- Abschlussmeeting (02’2023): beim Fraunhofer IOF in Jena

2.1.2 Arbeitspaket 2: Konzeptentwicklung und Implementierung Sensor

Webbasiertes Video-Streaming der 2D- und 3D-Datenströme

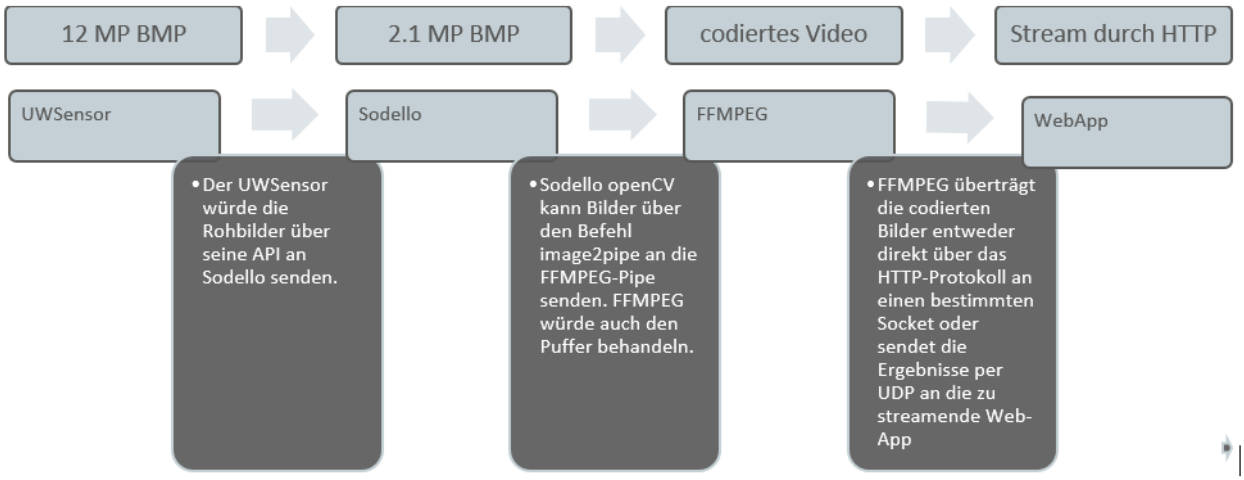

Abb. 3: Entwurf der Realisierung eines Live-Videostreamings

Zum Projektstart wurde basierend auf verschiedenen Kundenanforderungen und technischen Grundannahmen die Realisierung eines in-situ Video-Streaming der 2D- und 3D-Datenströme per Webapplikation untersucht und bewertet. Ausgehend von der Annahme der Versendung eines einzeln versendeten Frames (4000 x 3000 px, bmp-Format), übertragen von der 3D-UW-Sensor-API an Sodello zur Webvisualisierung, wurden zuvor nachfolgende Zwischenschritte betrachtet.

Mit der Reduzierung der Abtastrate sowie der anschließenden FFMPEG-Codierung konnte die Übertragung ins Web-App-Backend über UDP oder beispielweise direkt per http erfolgen. In Anlehnung an die anfängliche Annahme wurden verschiedene thematische Entwicklungen, wie die Software-Codierung vs. Hardwarebeschleunigung, z. B. FFMPEG vs. Nvidia-Codec-SDK, Qualitätsmetriken und die Rechenzeit eingehender betrachtet und mittels realitätsnaher Anwendungen und Hardware simuliert, getestet und bewertet. Abschließend wurde mit den im Projektverlauf aktualisierten Spezifikationen zur zeitlichen Live-Datendarstellung unter Berücksichtigung der Untersuchungen der konzeptionelle webbasierende Live-Streaming-Ansatz verworfen, da das Erreichen des Client-Geschwindigkeitsziels in einem Webbrowser nicht möglich ist. Begründet wird dies dadurch, dass das Caching im Browser nicht zielgerichtet steuerbar ist. Eine Vielzahl von untersuchten Protokollen enthalten in der Regel einige Dutzend Frames im Puffer. Jene erweisen sich als nicht kontrollierbar und sind zeitkritisch für das Rendering, um somit letztlich die benötigte, konsistente Framerate zu erzielen. Das schnellste Streaming-Protokoll WEBRTC konnte beispielsweise keine Ergebnisse unterhalb von 100 ms erzielen.

Latenzbetrachtung

Die vollständige Realisierung zur Steuerung sowie die 2D- und 3D-Visualisierung erfolgte mittels 3++-Software-Framework Sodello. Die Wirkungskette aller zeitlichen Einflussfaktoren hinsichtlich Hard- und Software sowie der zusätzlichen Datenschnittstellen wurde untersucht und abgeschätzt. Die zentrale und dezentrale Anzeige- und Steuerungsmöglichkeit in Abhängigkeit der Benutzerrolle wurde berücksichtigt, so dass prognostizierend die performanteste Sodello-Anwendung lokal auf der IOF-Workstation durch die direkte Anbindung an die UW-Sensor-API in Betracht kam. Eine drahtlose Übertragung per WLAN innerhalb des Schiffs ist für die Steuerung und latenzarmen Visualisierung des UW-Sensors nicht geeignet. Lediglich für passive Beobachter wird eine gesonderte App (ROV-View) per WLAN, besser jedoch per Schiffs-LAN, angeboten. Hierbei steht der Anspruch nach visueller Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Unterwasser-Begutachtung für die Schiffs-Crew oder etwaige Kunden und Partnern auf dem Festland im Vordergrund.

2.1.3 Arbeitspaket 3: 2x Offshore-Datenerhebung

Algorithmen zur Farbbildkorrektur

Bisherige Datenerhebungen im Klarwasser durch die Vorversuche in Ilmenau (Klarwasserbecken) oder in Würzburg (Hochseecontainer) bildeten nicht den realitätsnahen visuellen Unterwassereindruck nach. Auf eine künstliche Trübung durch Verunreinigungen wurde verzichtet bzw. konnte auch nicht qualitativ für Tests sichergestellt werden. Um auf die geminderten Sicherverhältnisse vorbereitet zu sein, wurden die LED-Hardware sowie die Bediensoftware optimiert. Hierbei wurde in Vorbereitung der kamerabasierten 2D-Farbvisualisierung, Bilder von einer am Riff Nienhagen installierten Web-Kamera herangezogen, analysiert und entsprechende Algorithmen zur Farbbildkorrektur angewendet. Hierbei lag der Schwerpunkt auf der interaktiven Vergleichbarkeit, welche nutzerspezifisch durch eine mögliche Parametereinstellung und -anpassung herstellbar ist. Folgende Algorithmen wurden implementiert und stehen beim Anwender in der Applikation zur Verfügung:

1. Nutzerdefinierte Farbwertanpassung (color levels adjustment),
2. Histogrammausgleich (histogram equalization) und
3. lokale Kontrasterhöhung - CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization).

Bis auf CLAHE können in Sodello alle obigen, aufgeführten Algorithmen mit AOIs (Area Of Interest) auf Bildregionen eingegrenzt werden. Eine verfügbare Funktionalität zur Side-by-Side-Visualisierung wird für den Realbetrieb nicht als zielführend und zweckdienlich erachtet. Die Parameter für color levels adjustment und CLAHE können rechts neben dem Bild entsprechend des Nutzerempfindens eingestellt werden. Die histogram equalization ist parameterlos. Dem Nutzer wird zusätzlich die zeitliche Dauer zur Anwendung des jeweiligen Algorithmus ausgegeben, um etwaige Latenzen bei der Live-Beobachtung zu beachten.

Hinsichtlich der individuellen, visuellen Sichtbarkeit im 2D-Farbbild gibt es keinen hervorzuhebenden bzw. gegenüber anderen Algorithmen abzugrenzenden Favoriten. Jedes Verfahren hat Vor- und Nachteile, welche nachstehend, stichpunktartig ausgeführt sind.

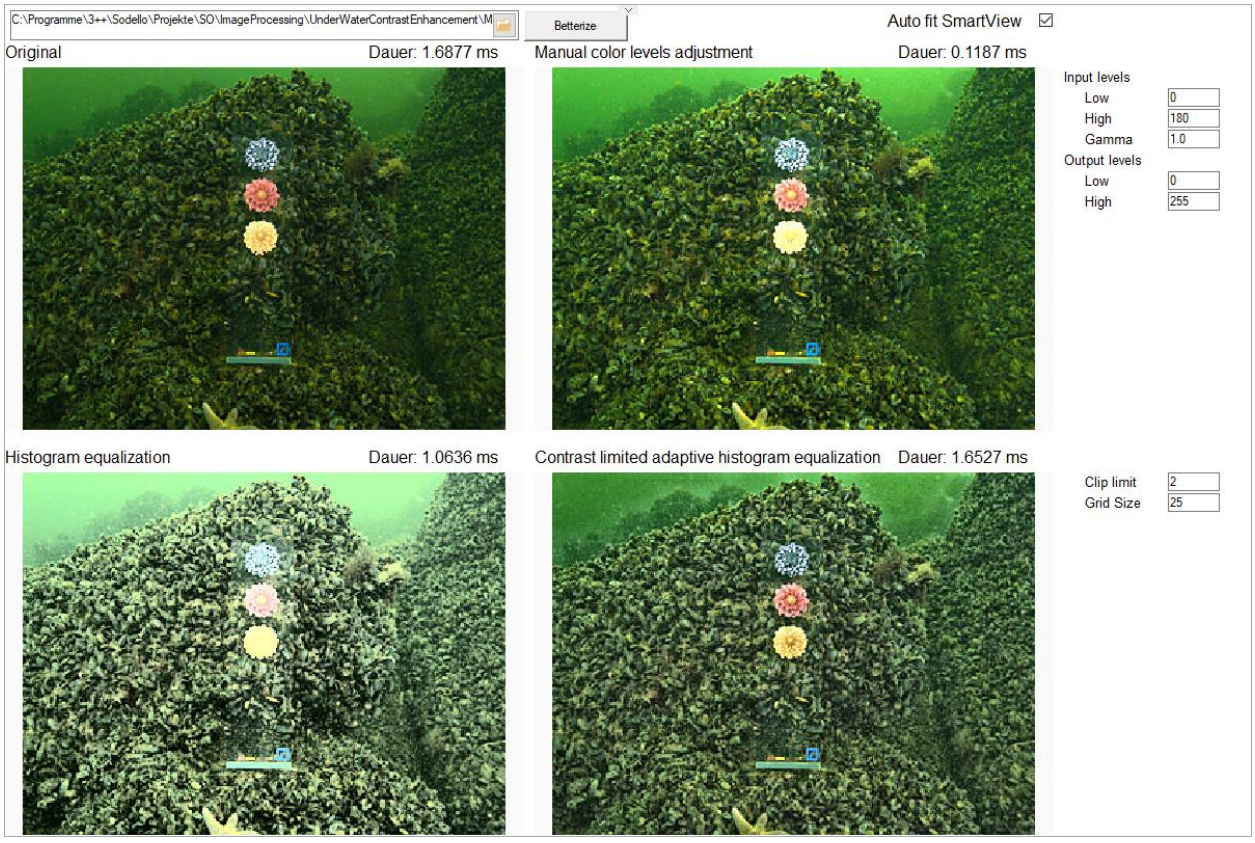

Abb. 4: Original Webcam-Aufnahme (oben links) vom Riff Nienhagen zur Anwendung der drei Algorithmen hinsichtlich der Farbbildkorrektur

› Color levels adjustment:
  + Statisch, kein Rauschen (über das des Sensors hinaus) oder Pulsieren/Helligkeitsänderungen durch lokale oder temporäre Änderungen der Szene (Lampe kurz verdeckt oder sehr heller/dunkler Fisch schwimmt vorbei)
  + Sehr schnelles Verfahren, Laufzeit von Parametern unabhängig
  - Muss manuell nachjustiert werden, wenn sich die globalen Lichtverhältnisse ändern
› Histogram equalization:
  + Sehr gute Kontrasterhöhung im mittleren Helligkeitsbereich der aufgenommenen Szene

+ Adaptiv gegenüber Schwankungen der globalen Lichtverhältnisse
o Nicht so schnell, aber (im Rahmen der Fluktuation des Gesamtsystems) konstante Laufzeit
- Globales Verfahren; relativ helle/dunkle Objekte in mehrheitlich dunklen/hellen Bildern verlieren Kontrast
- Neigt zur Produktion von Rauschen in Bereichen homogener Helligkeit (Hintergrund), wenn der Helligkeitsumfang des Originalbildes sehr schmal ist

› CLAHE:
+ Adaptiv gegenüber Schwankungen der globalen Lichtverhältnisse
+ Lokales Verfahren; angeleuchtete oder sehr dunkle Objekte in ansonsten dunklen/hellen Bildern verschwinden nicht und werden mit gutem Kontrastumfang dargestellt
- Lokale Kontrasterhöhung; -> ALLE Bildbereiche werden kontrastreich, auch quasi einfarbige Hintergründe
- Highlights verschwinden, alle Bildbereiche bleiben ungefähr gleich hell.
- Bei feinen Strukturen innerhalb von Bildbereichen erfolgt eine Kontrastüberhöhung.
- Im Live-Bild visuell sehr anstrengend für den Beobachter, da ständig Bewegung herrscht.
- Laufzeitverhalten stark von Parametern abhängig, potenziert sich mit steigender grid size.

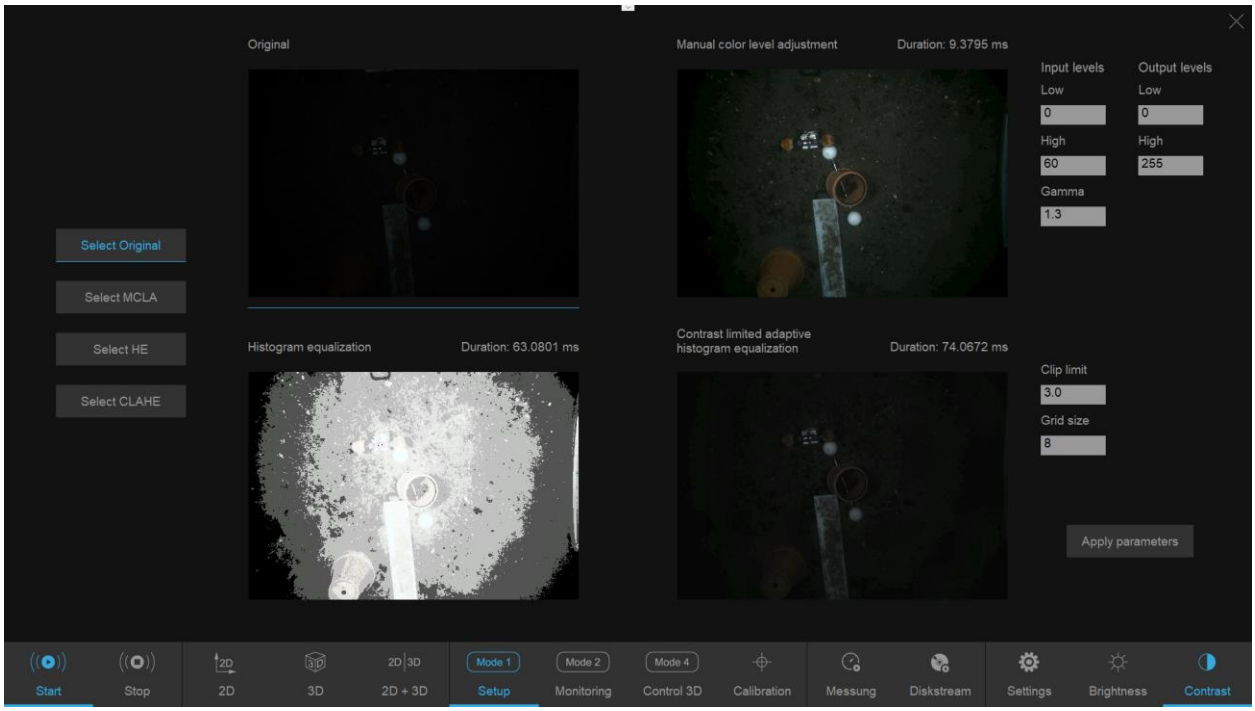

Abb. 5: Finale Ansicht in der UW-Sensor-App einer Unterwasser Szene vom Riff Nienhagen unter Anwendung der Farbkorrekturen

Der Nutzer kann in Abhängigkeit der Sichtverhältnisse während des Betriebs des Sensors in dem Menüpunkt „Contrast“ die Parameter anpassen. Durch die Auswahl des bevorzugten Farbkorrekturverfahrens auf der linken Seite (Abb. 5) wird diese in den Hauptvisualisierungen „2D“ und „2D+3D“ übertragen.

Gewinnung von Datenströmen zu Testzwecken/Simulation

Für die zielgerichtete Entwicklung ist das Vorliegen eines realen Testdatensatzes zum Evaluieren der Software essentiell. Anfängliche Datensätze sind im Laborumfeld an Luft entstanden und wurden im Projektverlauf mit anwendungsnahen Daten ergänzt. Für das Projekt wurde ein neues Geräte-Plug-in entwickelt, welches unter Einbeziehung der IOF-Sensor-API und dessen Producer- sowie Broker-Anwendung das sensorische Gesamtsystem abstrahieren und damit virtualisieren konnten. Neuerungen der Sensor-API vom Fraunhofer

IOF wurden mittels dieser Simulationsumgebung geprüft bzw. Adaptionen und Weiterentwicklungen vorgenommen.

2.1.4 Arbeitspaket 4: Entwicklung und Implementierung der Algorithmen

Die in Abschnitt 2.1.2 ausgeführten Untersuchungen zur Entwicklung der Visualisierung von 2D- und 3D-Datenströmen mittels Web-Applikation unter dem Anspruch einer latenzarmen Darstellung wurden verworfen. So wurde die Entwicklung mit dem 3++-Entwicklungswerkzeug verfolgt. Neben der 2D- und 3D-Visualisierung wurde im Projektverlauf zugunsten der Bedienbarkeit, der schnelleren Inbetriebnahme, Kalibrierung und Einsatzfähigkeit zusätzlich die Steuerung des UW-Sensors entwickelt bzw. implementiert. Diese Funktionalität wirkt sich positiv auf die zeitliche Einsatzdauer der Messkampagne auf dem Schiff aus und reduziert unmittelbar Einsatzkosten. Die Kundenakzeptanz wird erhöht und die Grundlagen für ein industrielles, einsatzbares Produkt geschaffen.

Steuerung und Funktionalitäten des Sensors

Neben der Grundanforderung zur Visualisierung der Datenströme wurde die UW-Sensor-Anwendung derart ausgelegt, zusätzlich mit dem System zu kommunizieren und dieses aktiv zu steuern. Dies wurde mittels der UW-Sensor-API des Fraunhofer IOF und der darin enthaltenen Anwendungen Broker und Producer realisiert. Die Kommunikation erfolgte dabei über eine TCP/IP-Verbindung. Die Anwendung beinhaltete nachfolgende Steuerfunktionalitäten, ausgelegt in englischer Sprache.

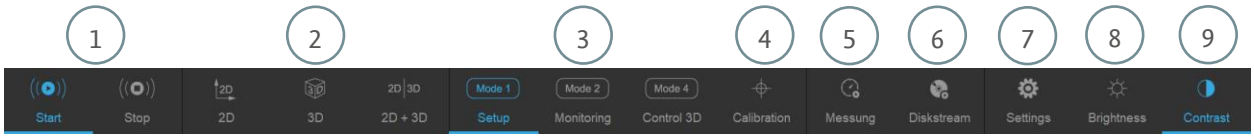

Abb. 6: Ausschnitt des Menüs der Sensor-App (aktuell ausgewählter, aktivierter Button ist blau dargestellt)

Durch die Button „Start“ und „Stop“ (siehe Abb. 6, Abb. 7 1) konnte aktiv das Livestreaming aller Geräte des Sensors in dem ausgewählten Operationsmodus gestartet und beendet werden.

Über die in Abb. 3, Punkt 3 dargestellten Buttons konnte der Operationsmodus des Sensors gewechselt werden. Dabei handelte es sich um die vier vordefinierten Mess-Modi „Setup“, „Monitoring“, „Control 3D“ und „Calibration“. Den Mess-Modi liegen vordefinierte Einstellungen zugrunde, welche unter anderem hardware-gebundene Abhängigkeiten aufweisen, die sich in einer Parameter-Varianz hinsichtlich der Frequenz der Datenakquise von 2D- und 3D-Daten, der Auflösung der Kamerabilder etc. unterscheiden. Die Definition und Voreinstellung oder Änderung wurde durch das IOF vorgenommen.

Im Laufe des Projektes wurden die einzelnen Mess-Modi um eine zusätzliche Einstellmöglichkeit ergänzt, den Presets. Dabei handelte es sich um vordefinierte Parametersets, die eine Live-Parameter-Änderung im Menü „Brightness“ (siehe Abb. 6, Punkt 8) jeweils für den 2D-Farb- sowie 3D-Datenstrom während aktiver Messungen ermöglichen. Jeder Sensor hat seine eigenen Presets. Durch Änderung der Presets kann beispielsweise die Lichtempfindlichkeit der Kameras an die Sichtverhältnisse der Umgebung und der LED-Blitzlichtintensität angepasst werden. Bei Preset-Änderungen werden die Datenströme der betreffenden Sensoren kurzzeitig (< 1000 ms) pausiert.

Der Menü-Punkt „Setting“ (siehe Abb. 6, Punkt 7) beinhaltet weitere ausführlichere, speicherbare Einstellmöglichkeiten, beispielweise den allgemeinen Speichermodalitäten (Diskstream) und den hinterlegten Arbeitsabständen des Sensors. Im Menü „Contrast“ (siehe Abb. 6, Abb. 9) werden die im

Abschnitt 2.1.3 ausgeführten Entwicklungen zur Farbbildkorrektur nutzerfreundlichen dargestellt. Durch Betätigung des Buttons „Messung“ (siehe Abb. 6, Punkt 5) wird die Messung der aktiven Sensordatenströme gestartet und durch die Betätigung des Buttons „Diskstream“ (siehe Abb. 6, Punkt 6) aufgenommen und auf der Festplatte abgespeichert.

Datenkomprimierung

Die Speicherung der Rohdaten bei der Messaufnahme der Farbkamerabilder als auch der Disparitätsbilder bindet sehr viel Speicherkapazität. Geeignete Kompressionsverfahren wurden recherchiert, angewandt und hinsichtlich der Datenverluste, dem Kompressionsverhältnis, -zeit und -geschwindigkeit verglichen. Untersucht wurden im Detail nachstehende Verfahren:

› LZ4 Kompression (Faktor 1 und 9)
› JPEG (30 % und 80 % Qualität)
› Lossless JPEG
› JEPEG 2000 (30%, 80% lossless Qualität)
› LZW
› LZ77, LZ78, LZSS, LZMA
› Huffmann-Kodierung
› Deflate Kompression (Faktor 1 und 9)

Für die Komprimierung der Dispartitätsbilder wurde die LZ4 Komprimierung und für die Farbkamerabilder die JPEG Kompression ausgewählt. Diese wurden jeweils als singuläre Quellcodes entwickelt und für die Einbindung in die IOF-Sensor-API zur Verfügung gestellt.

Empfang der Sensordaten

Eine weitere Anforderung an die UW-Sensor-Anwendung war das Empfangen und Verarbeiten der anfallenden Sensordatenströme. Je nach Anwendungsfall konnten innerhalb des Projektes folgende Datenströme empfangen werden:

› Image_Color (Farbbild der Farbkamera)
› Image_Master (Grauwertbild der Masterkamera oder Farbkamera im Kalibriermodus)
› Image_Slave (Grauwertbild der Slavekamera)
› Pointmap (3D-Punktwolken des 3D-Sensors)

Der Empfang dieser Datenströme geschah, analog zur Steuerung des Sensors, über den Producer der UW-Sensor-API des Fraunhofer IOF. Die ankommenden Payloads der 2D-Daten wurden dabei mittels OpenCV zu Farb- oder Grauwertbildern zur späteren Visualisierung und Weiterverarbeitung prozessiert. Die 3D-Daten, welche als float-Arrays vom Sensor versendet wurden, wurden in eine für Sodello visualisierbare 3D-Punkteliste vom Typ double mit je x-, y- und z-Koordinate pro Listeneintrag/Punkt konvertiert. Im Rahmen dessen wurden auch NaN[1]-Werte der Sensor-Pointmap herausgefiltert.

Weiterverarbeitung der Sensor-Daten

Bis zur Visualisierung der Daten folgten weitere Verarbeitungsschritte, sowohl für die Verarbeitung der 2D- als auch der 3D-Daten. Für die 2D-Weiterverarbeitung erfolgte eine Einfärbung unterbelichteter und überbelichteter Bildbereiche. Für diesen entwickelten Algorithmus wurde in der Anwendung ein unterer und oberer Schwellwert festgelegt. Unterschreitete ein Farbwert eines Pixels den unteren Schwellwert, wurde dieser blau eingefärbt (R=0, G=0, B=255). Überschreitete ein Farbwert den oberen Schwellwert, wurde dieser

[1] Not a Number: Computerdarstellung eines ungültigen Zahlenwertes

rot eingefärbt (R=255, G=0, B=0). Dieser Algorithmus wurde sowohl bei Farbbildern als auch Grauwertbildern angewendet. Grauwertbilder wurden dafür zunächst mittels OpenCV in Farbbilder umgewandelt, sodass jeder Farbwert eines Pixels dem ursprünglichen Grauwert entsprach (Bsp.: Y=50 -> R=50, G=50, B=50). Die Einfärbung der Bilder fand visuelle Anwendung auf den Seiten zur Kalibrierung und Preset-Auswahl.
Im Verlauf der 3D-Verarbeitung wurde aus den anfallenden Punktewolken zuerst ein zuvor definiertes AOI ausgeschnitten. Dies eliminiert mögliche irrelevante oder falsch gemessene Punkte. Je nach ausgewählter Einfärbung („Grayscale“, „High Contrast“, „Spectral Colors“, „Turbo“) wurde anschließend die Punktewolke im letzten Schritt vor der Visualisierung eingefärbt. Die Auswahl „Turbo“ ermöglichte dabei ein dynamisches Farbschema auf Basis der Abstände aller Punkte zu einer Referenzebene.

Kalibrierung

Zur Realisierung der IOF-Sensor-Kalibrierung wurde ein Zwischenschritt in die Sensor-App im Menüpunkt „Calibration“ (siehe Abb. 6, Punkt 4) eingefügt. Im aktiven Messmodus werden unter maximaler Auflösung und im 8-Bit Grau-Stufen-Modus die Bilder der drei Kameras (Master, Slave, Farbkamera) aufgenommen und in einen jeweils gesonderten Tiff-Stapel innerhalb des automatisch erzeugten Ordners abgelegt. Hierfür wurde die Erzeugung der tiff-Stapel sowie der iterative Ablauf in der Sensor-App implementiert und grafisch für die GUI aufbereitet (siehe Abb. 7).

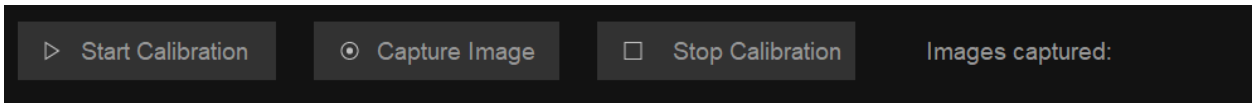

Abb. 7: Button zur Durchführung der Calibration

- Start Calibration: erzeugt einen Ordner mit entsprechendem Namen und Zeitstempel
- Capture Image: Datenstrom wird gestartet und nimmt die n-Anzahl der Bildfolge auf, pro Klick werden 10 Bilder aufgenommen und fortlaufend im „Image captured:“ hochgezählt“
- Stop Calibration: Datenstrom wird gestoppt, der Tiff-Stapel wird geschlossen und der Bildzähler zurückgesetzt

Visualisierung der 2D/3D-Daten

Die fertig verarbeiteten 2D- und 3D-Daten wurden abschließend, je nach ausgewählter Seite, in den Sodello-eigenen 2D- bzw. 3D-SmartViews visualisiert. In der Anwendung gibt es dafür drei Hauptdarstellungsseiten (siehe Abb. 7, Punkt 2): 2D, 3D und 2D + 3D. Die 2D- bzw. 3D-Seiten beinhalteten eine vergrößerte alleinige Darstellung der entsprechenden Daten, wohingegen auf der Seite 2D + 3D beide Daten nebeneinander verkleinert dargestellt wurden. Im 2D-SmartView wurden die verarbeiteten Bilder automatisch an die Grenzen der Viewer angepasst, unabhängig von den Maßen des entsprechenden Viewers. Ebenfalls konnte in die Bilder hereingezoomt werden. Der Zoom wurde dabei gleichermaßen auf die große und kleine Darstellung angepasst. Gleiches Verhalten galt für das 3D-SmartView zuzüglich zu einer möglichen Drehung der Darstellung im Raum. Für die Bedienung mittels Touchscreen ist die 3D-Navigation mittels Gestensteuerung erweitert worden. Zur benutzerfreundlichen räumlichen bzw. perspektivischen 3D-Erfassung sind vier auswählbare Farb-Modi möglich (Grayscale, High Contrast, Spectral Colors, Turbo).
In der ROV-Anwendung wurden analog zur UWSensor-Anwendung die Hauptansichtsseiten zuzüglich zur Kontrastseite dargestellt, siehe Abb. 13. Der ROV-Pilot kann damit abseits der Hauptanwendung und den Messingenieuren eine gesonderte Einstellung des Farbbilds zur besseren Navigation zu wählen.

GUI Redesign

Im Verlauf des Projekts wurde die bisherig funktionell gestaltete Oberfläche in ein anwendungs- und benutzerorientiertes GUI umgestaltet. Angepasst an eine abgedunkelte Arbeitsumgebung, der maximalen Bildschirmausnutzung sowie der touchfähigen, intuitiven Bedienung sind Optimierungen vorgenommen worden. Ein visueller Vergleich ist durch die Gegenüberstellung der Abb. 13 und Abb. 14 im Anhang gegeben.

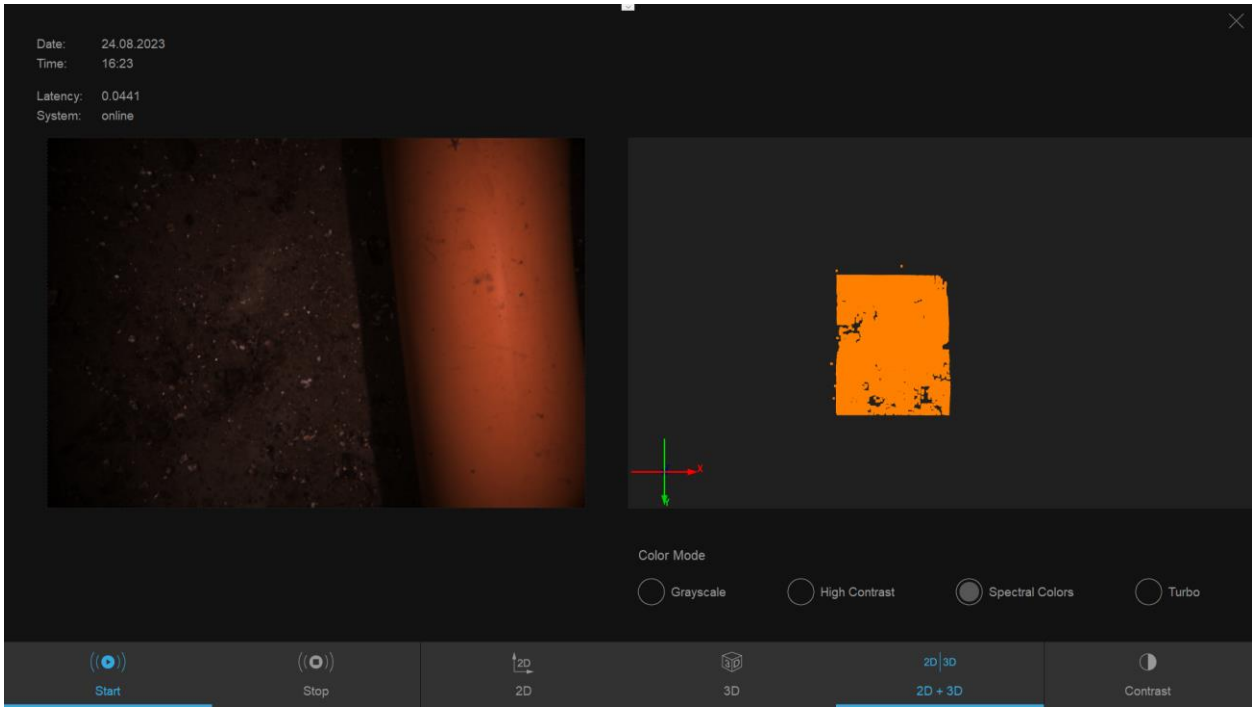

Abb. 8: Visualisierung der 2D/3D-Daten in der ROV-Anwendung mit reduzierter, an die Benutzerrolle angepasste Menü-Auswahl

Web-Applikation des registrierten 3D-Modells

Für die Visualisierung der registrierten Gesamtmodelle wurde in Absprache mit der JMU die open source basierende Software Potree genutzt. Diese basiert auf WebGL, einem Open-Web-Standard zum Rendern von Grafiken mit dem Vorteil, dass die Anwendung ohne zusätzliche Plug-ins mit jedem kompatiblen Browser lauffähig ist. Potree wird mittels JavaScript, GULP als Bundler und Jquery als Hauptbibliothek entwickelt. Für die interne Entwicklung zur Auswahl eines geeigneten Technologie-Stacks wurden dementsprechend nachfolgende Sachverhalte berücksichtigt.

- Minimale vorzunehmende Änderungen am Potree-Quellcode
- Minimale Fragmentierung des Technologie-Stacks (im gesamten Projekt wurde nur JavaScript verwendet)
- Flexibilität auf sich ändernde Anforderungen
  - Verwendung von React für die reguläre Entwicklung
  - EJS für die Integration von Legacy-Code
- Wartungsfreundlichlichkeit, Modularität, Kompatibilität
  - Entwicklung und Integration von wiederverwendbaren Komponenten

An diese Anforderungen angelehnt wurde Potree React als Haupt-Frontend-Framework und NodeJS als Backend-Logik mit Express als Server gewählt. Die Technologien einschließlich Potree basieren auf JavaScript als Programmiersprache, welches eine Codekonsistenz im gesamten Projekt ermöglicht. Untersuchungen und Tests hinsichtlich der Integration von React und Potree erwiesen sich als diffizil. Folglich wurde die

Lösung mittels der Template-Rendering-Engine EJS gewählt, um Kompatibilitätskonflikte zu umgehen. Eine Änderung am Kerncode von Potree wurde vermieden und nur in seltensten Anwendungsfällen vorgesehen und vorgenommen. Die Entwicklung erfolgte weitestgehend außerhalb der Potree-Umgebung.

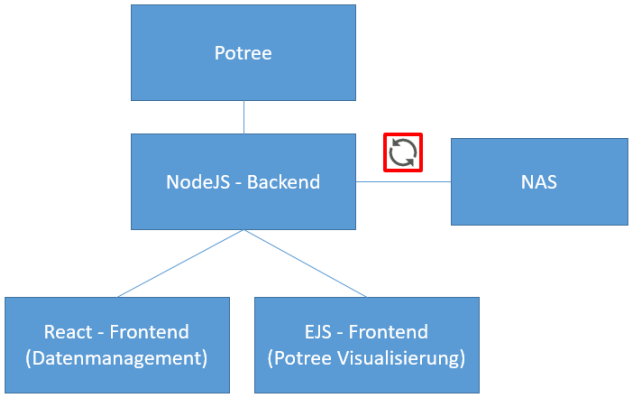

Abb. 9: Schematische Darstellung der Projektarchitektur zur Realisierung der Web-Anwendung

Der Workflow bzw. die Vernetzung zur Bereitstellung und Visualisierung des registrierten Gesamtmodells besteht aus der nachfolgenden Abfolge.

1. Das Backend (NodeJS) scannt das NAS automatisch mit einem festgelegten zeitlichen Turnus auf Änderungen oder Aktualisierungen.
   Der Turnus wird vom Admin eingestellt.
2. Die Aktualisierungen werden dem Nutzer im React-Frontend quasi in Echtzeit bereitgestellt. (Siehe Abb. 11 – im Anhang)
   a. Der Nutzer kann die jeweiligen Daten der einzelnen Modelle einsehen und aktualisieren.
   b. Der Nutzer kann neue Vorschaubilder (Thumbnails) für die einzelnen 3D-Modelle erstellen. (Siehe Abb. 12 – im Anhang)
3. Die Aktualisierungen werden im EJS-Frontend nach benötigter Interaktion visualisiert. (Abb. 10)
   a. Der Nutzer kann die auf dem NAS vorliegenden Modelle auswählen und visualisieren.
   b. Zusatzfunktionen, wie time slide oder Vermessungsfeatures, stehen zur Verfügung.
   c. Die UW-Sensor Flugbahn, sofern verfügbar wird darstellt.

Abb. 10: Visualisierung eines Datensatzes aus der See-Erprobung im Potree Viewer der Web App (EJS-Frontend)

Hinsichtlich der Datensicherheit wurden grundlegende Funktionen, wie Passwortschutz mittels Hashing, Salting und Peppering, dem Login mit JWT-Tokens sowie die Verfolgbarkeit von Benutzeraktivitäten entwickelt. Ein Echtzeit-Monitoring, einsehbar auf der Main-Page, gewährt einen Überblick über Verbindungsinformationen, z. B. der NAS-Verfügbarkeit, den letzten Aktualisierungen, der Anzahl der Gesamtmodelle bzw. Projekte, dem gültigen Speicherpfad sowie das verfügbare Datenvolumen.

2.1.5 Arbeitspaket 6: Offshore Test

Dem Offshore-Test am 21-22.11.2022 vorausgegangen sind die arbeitsmedizinische Untersuchung bzw. Eignung sowie diverse Schulungen und Trainings. Des Weiteren gab es in Vorbereitung des Offshore-Tests intensive Planungen zu Testszenarien, Messinhalten und -abläufen, Messobjekten sowie zur Organisation der Teamzusammensetzung auf dem Schiff. Zudem fand mit dem beauftragten Unternehmen BALTIC Taucherei- und Bergungsbetrieb Rostock GmbH ein Treffen in Rostock zu den Gegebenheiten (Schiff, Messobjekte, etc.) und der organisatorischen Planung statt.

Im Anschluss des Offshore-Tests fand die Datenanalyse statt. Aufbereitete Daten wurden in die Simulationsumgebung der UWSensor-App sowie der Web-App integriert, analysiert und bewertet. Notwendige Software-Anpassungen, wie der Farbkorrektur, wurden im Nachgang mittels der Realdaten vorgenommen. Zweckdienliche Funktionalitäten für die Optimierung des Systems bzw. zur besseren Messdurchführung wurden abgeleitet und für kommende Entwicklungen festgehalten. Hierunter zählt beispielsweise die Visualisierung des aktuellen Messfeldes in das 2D-Farbbild zur unterstützenden Navigation für den ROV-Piloten sowie zur messtechnischen Unterstützung der Unterwasseraufnahme durch den Ingenieur/Wissenschaftler.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Teilprojekt - Schnelle Implementierung, Datenmanagement, Industrielle Anwendung, (FKZ: 03SX482B) sind Kosten durch Personalausgaben und Reisen in Höhe von 271.652,53 Euro entstanden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die unter Abschnitt 2.1 ausgeführten thematischen 3++-Entwicklungen sowie den zu realisierenden 3D-Unterwassersensor benötigt die Zusammenarbeit unterschiedlichster Fachdisziplinen und Akteuren. Um das ganzheitliche Konzept umzusetzen und den heutigen Stand der Technik zu erweitern, bedarf es intensiver Investitionen in Hardware, Entwicklungen und Know-how und bedingt das aufgestellte Konsortium, um alle spezifischen Anforderungen zu bedienen und letztlich in einem Komplettsystem praxistauglich und anwendungsnah zu demonstrieren und folglich zu etablieren.

Der Umfang, das Know-how, das technische sowie finanzielle Risiko kann durch keinen Projektpartner alleinig getragen werden. Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung und der erfolgreichen Ergebnisse, der Umfang der aufgewendeten personellen Ressourcen notwendig und angemessen war. Es wurden keine weiteren, zusätzlichen Ressourcen oder Kosten für das Projekt notwendig.

2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des Verwertungsplans

Im Rahmen der Forschungsarbeiten im Verbundprojekt konnte neben den technischen Ergebnissen, der Partnerschafts- und Kooperationsaufbau erfolgreich realisiert werden. Die gewonnenen Kompetenzen auf den Gebieten der 3D-Technologien können fachübergreifend genutzt werden. So fließen die methodischen Ansätze sowie die entwickelten Software-Technologien in gegenwärtig laufende Kunden- und Förderprojekte ein, welche im produktionsnahen Umfeld angesiedelt sind. Darüber hinaus findet die Verwertung der Software-Module sowie der Web-Applikation hinsichtlich der 3D-Visualisierung in Kundenprojekten statt, die zur Realisierung messtechnischer Fragstellungen der E-Mobilität und der Qualitätssicherung dienen.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Der Markt für 3D-Messtechnik ist ein ständig wachsender Markt. Eine permanente Marktbeobachtung ist aus diesem Grund erforderlich. Diese wurde im Laufe der Projektarbeit insbesondere auf den marktetablierten Messen wie der jährlichen Fachmesse CONTROL in Stuttgart realisiert. Des Weiteren wurde für die Software-Anwendungen am Markt übliche Anbieter für den maritimen Einsatzbereich recherchiert und fortwährend auf Neuerungen beobachtet und ggf. zum internen (Leistungs-)Vergleich herangezogen.

Ständige Verbesserungen im Bereich der optischen 3D-Sensoren bei der Geschwindigkeit, Auflösung und Bedienung der Geräte sind zu beobachten. Unterstützt wird diese Entwicklung auch durch die Verbesserung der Komponenten (Rechentechnik, Kameras und Projektor). Die Fortschritte in diesem Bereich wirken sich positiv auf den Einsatz von 3D-Inspektionstechnik aus und somit z. B. durch Kameras mit einer günstigeren Quanteneffizienz für den Unterwasserbereich. Jedoch gibt es kein vergleichbares Gesamtsystem bzw. vergleichbaren Ansatz für das Konzept des auf Musterprojektion basierenden Unterwasser-Sensors, welches gegenwärtig eine industrienahe Produktreife besitzt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden und werden potentiellen Kunden und Kooperationspartnern durch die 3++-Unternehmenspräsentation sowie auf Messen vorgestellt. Während der Projektlaufzeit erfolgte Veröffentlichungen bzw. wirksame Marketing-Maßnahmen der 3++ sind nachführend stichpunktartig aufgeführt.

1. Messe all about automation Chemnitz (aaaC), 28. – 29.09.2022
   a. Per Tablet, Darstellung der UWsensor App mittels der Simulation eines Datenstroms und Navigation durch die App
2. LinkedIn-Beiträge 2021, 2022, 2023
   a. 19.11.21 Ilmenau Test - https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6867371005078212608/
   b. 29.07.21 GWO Training - https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6826407251071262720/
   c. 25.08.22 Sea Survival - https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6968446895681650688/
   d. 08.12.2022 SeeErprobung - https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7006580929519341569/

Weiterhin ist es vorgesehen, die Ergebnisse nach Projektende auf Messen zu präsentieren. Geplante Veröffentlichungen bzw. Marketing-Maßnahmen nach Projektende sind die National Maritime Konferenz am 14.09.23 in Bremen durch einen Pitch-Vortrag sowie auf der Messe aaaC vom 27. – 28.09.23 in Chemnitz durch die Demonstration der SW-Applikation.

3 Erfolgskontrollbericht

Ein kurzgefasster Erfolgskontrollbericht ist als Anlage beigefügt.

4 Kurzfassung – Berichtsblatt

Ein in deutscher Sprache ausgefülltes Berichtsblatt ist als Anlage beigefügt

5 Anhang

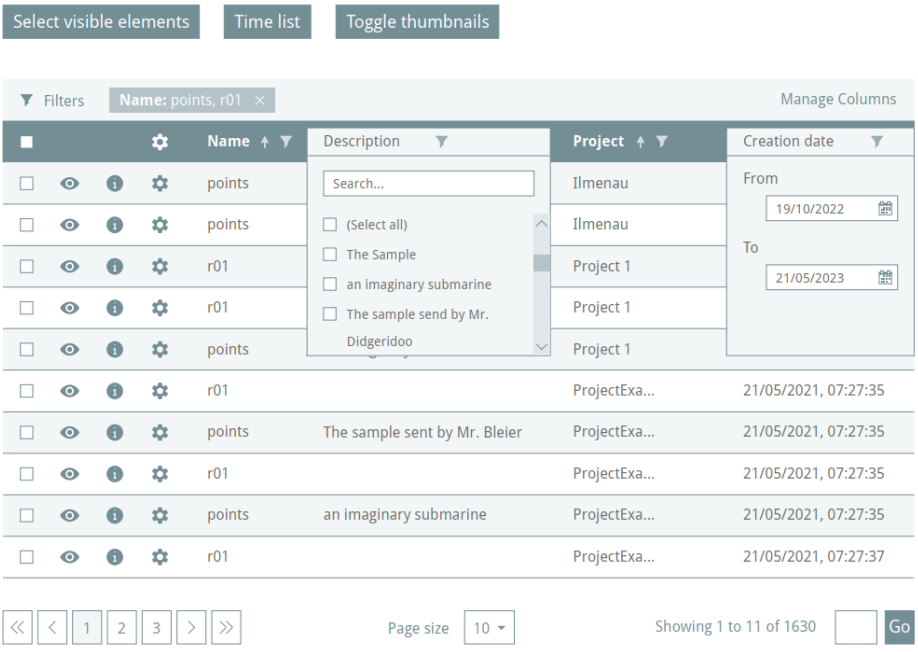

Abb. 11: Tabellarische Organisation in der Web App (Filterfunktionen)

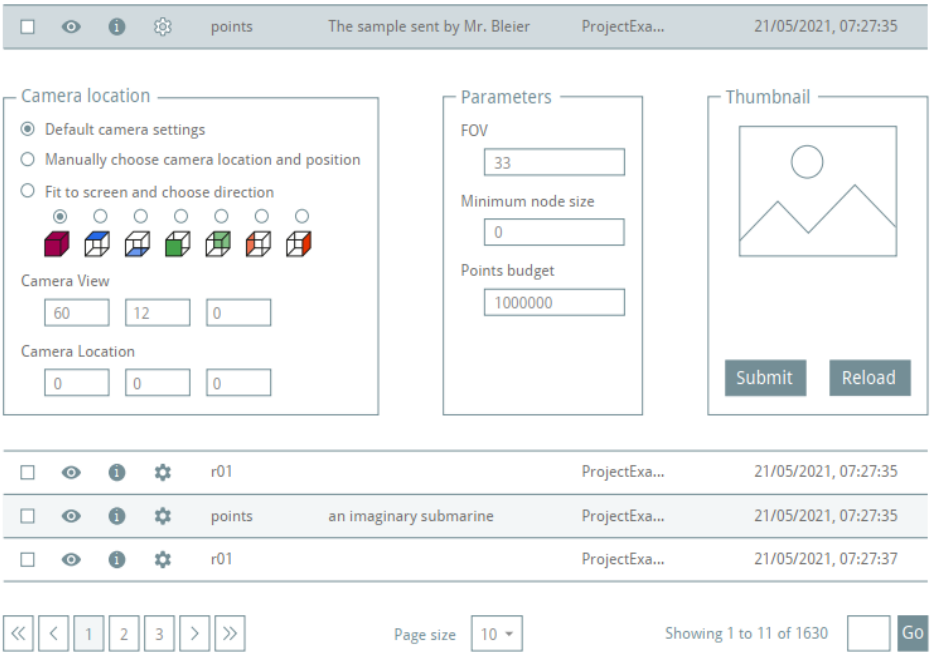

Abb. 12: Tabellarische Organisation in der Web-App (Konfigurationen, Thumbnails)

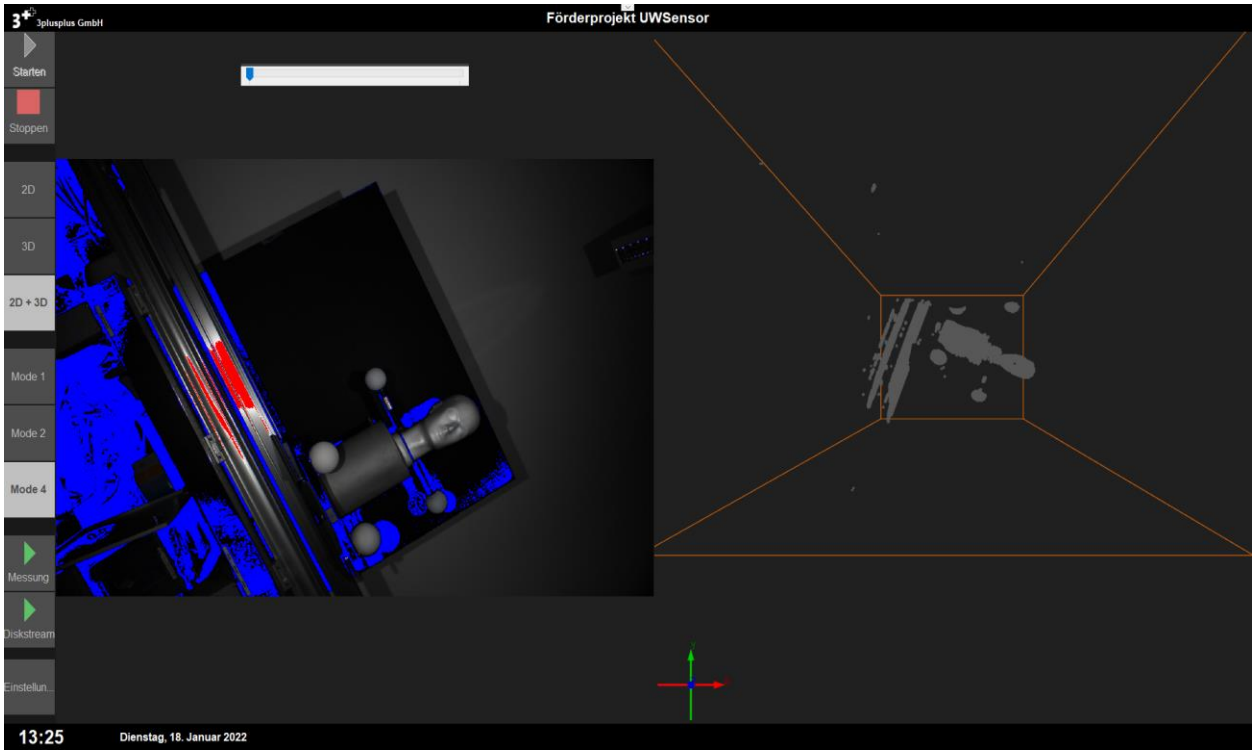

Abb. 13: Alte GUI der Sensor-App mit den links angeordneten Menüelementen

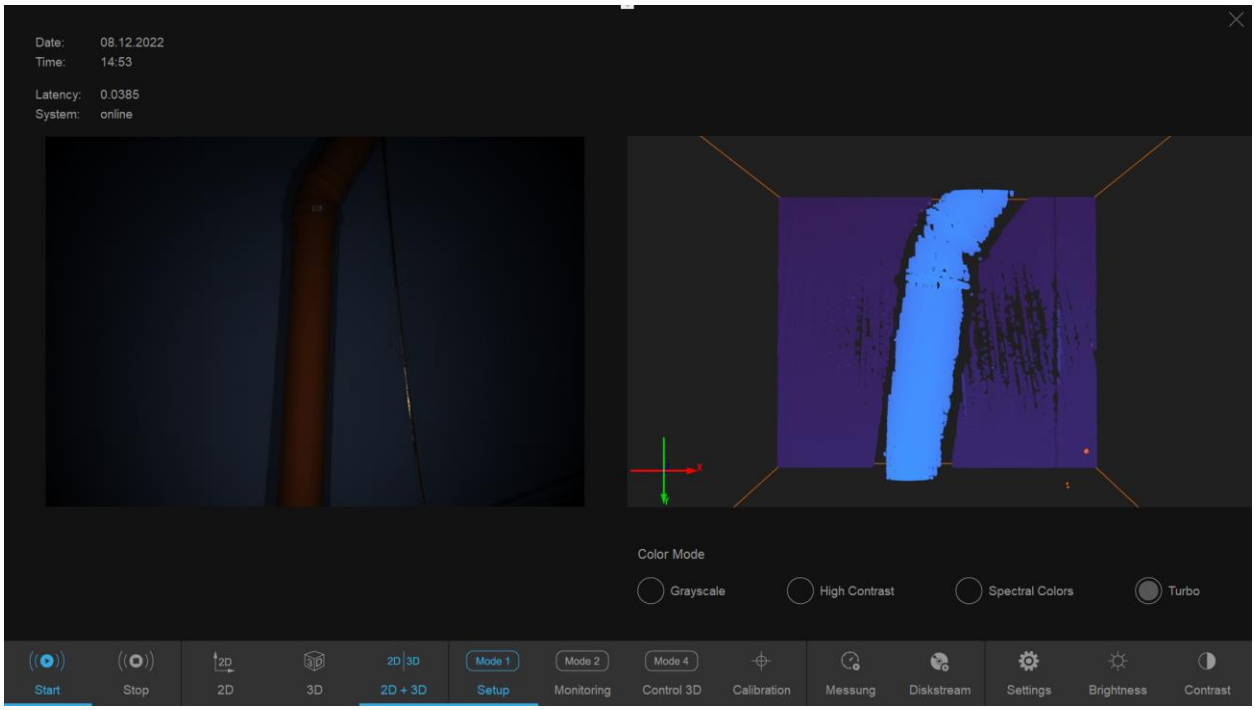

Abb. 14: Finale Sensor-App nach dem Redesign

Impressum

Niederlassung Thüringen
3plusplus GmbH
Pfütschbergstraße 1
98527 Suhl | Deutschland

T+49 (0) 36 81 · 452 99-00
F+49 (0) 36 81 · 452 99-99
www.3plusplus.com

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht

3. Titel

Echtzeit 3D Daten(vor)verarbeitung zur Punktwolkenvisualisierung eines selbstkalibrierenden Unterwasser 3D Scanners

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens
Baumann, Anja	28.02.2023
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation

8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
3plusplus GmbH Xantener Straße 191 47665 Sonsbeck	10. Förderkennzeichen 03SX482B
	11. Seitenzahl 17

12. Fördernde Institution (Name, Adresse)	13. Literaturangaben
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	keine
	14. Tabellen keine
	15. Abbildungen 14

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung

Ziel war es, das Gesamtprojekt, „Entwicklung eines auf Projektion strukturierter Lichtmuster basierenden echtzeitfähigen Unterwasser-3DSensors“ hinsichtlich der Algorithmik und 3D-Datenübertragung mit performanten Methoden zu unterstützen, um eine schnelle, möglichst noch vor Ort und unverzüglich erfolgende Datenauswertung zu ermöglichen. Zuzüglich sollten die gewonnen Daten geeignet visualisiert werden, um dem Betrachter die aufgenommene Szene anschaulich präsentieren zu können.

Hierfür wurden spezifische Algorithmen und deren Umsetzung in Software-Module entwickelt oder weiterentwickelt und in eine bedienerfreundliche Anwendungssoftware integriert. Diese ermöglicht den im Rahmen des Gesamtprojektes entstandenen Unterwaser-3D-Sensors zu konfigurieren, zu kalibrieren und zu steuern sowie die 2D- und 3D-Daten latenzarm zu visualisieren. Wesentliche Entwicklungsschwerpunkte, wie bespielweise Kompressionsverfahren, bildbasierende Algorithmen und Methoden zur Punktwolkenvisualisierung, wurden er- und bearbeitet und für die Anwendung entwickelt. Neben dieser Hauptanwendung wurde eine browserbasierte Applikation basierend auf einem React- und EJS-Frontend sowie ein NodeJS-Backend entwickelt, um registrierte Gesamtmodelle aufzubereiten und mittels Potree zu visualisieren. Eine zeitnahe optische Begutachtung und Bewertung ggf. durch eine unterstützende Vermessung ist somit möglich. Durch praxisnahe Anwendungstests sowie einen Nearshore-Einsatz in der Ostsee konnte die Funktionsfähigkeit und Robustheit der UWSensor-App erfolgreich demonstriert werden.

19. Schlagwörter
3D-Visualisierung, 3D-Messtechnik, Automatisierung, Bedienerfreundliche Anwendung, GUI, Applikation, 3D, Latenzarme Datenverarbeitung, Bildverarbeitung, Farbbildkorrektur, Datenkomprimierung, Potree, Web Applikation, Unterwasser, Sensorik

20. Verlag	21. Preis