

Drohnengestützte Erfassung von maritimen Infrastrukturen

Ein Beitrag von DAVID HEUSKIN und FRANK LEHMANN

Das Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. in Bremerhaven befasst sich mit der Entwicklung von automatisierten Technologien und echtzeitnahen Verarbeitungsmethoden zur Erstellung neuartiger Lagebilder für den maritimen Bereich. Über- und Unter-Wasser-Drohnen (UAV, AUV, ROV) werden mit neuartigen optischen Kamera- und Sonarsystemen eingesetzt, um dreidimensionale Lagebilddaten aufzunehmen. Spektrale Informationen und dreidimensionale Punktwolken werden zu Lagedarstellungen kombiniert, die die Lösung von Sicherheitsfragestellungen vereinfachen und beschleunigen (Suche von Lecks, Schäden an Anlagen, Erfassung von Fahrzeugen und Personen auf dem Hafengelände). Die Technologie leistet einen wichtigen Beitrag zum Überblick über die maritimen Infrastrukturen. Durch die gute Verfügbarkeit und die Leistungsfähigkeit der Systeme sowie Möglichkeiten zum automatisierten Betrieb lässt sich der zeitliche Aufwand der Modellierung auf ein Minimum reduzieren.

Drohnen | 3D-Modellierung | Photogrammetrie | Visualisierung | Punktwolke | AUV | Multikopter
UAVs | 3D modelling | photogrammetry | visualisation | point cloud | AUV | multicopter

The Institute for the Protection of Maritime Infrastructures of the German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.) in Bremerhaven is concerned with the development of automated technologies and near-real-time processing methods for the creation of novel situation pictures for the maritime sector. Surface and underwater drones (UAV, AUV, ROV) are used with novel optical camera and sonar systems to acquire three-dimensional situation picture data. Spectral information and three-dimensional point clouds are combined to form situation displays that simplify and accelerate the solution of safety issues (search for leaks, damage to installations, detection of vehicles and persons on the port area). The technology makes an important contribution to the overview of maritime infrastructures. Due to the good availability and performance of the systems as well as possibilities for automated operation, the time required for modelling can be reduced to a minimum.

Autoren

Dr. David Heuskin ist Gruppenleiter Technologieerprobungssysteme am Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen des DLR in Bremerhaven. Frank Lehmann ist Leiter der Abteilung Maritime Sicherheitstechnologien am Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen des DLR in Bremerhaven.

david.heuskin@dlr.de

Das 2018 eingeweihte Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen des DLR in Bremerhaven fokussiert sich auf die Bereitstellung neuartiger, bewerteter Lagebilder. Zu diesem Zwecke werden kostengünstige Technologien im Bereich Sensorik und Methoden zur schnelleren Datenverarbeitung entwickelt. Als Ausgangspunkt der Forschung dienen Sicherheitsanalysen, die existierende Systeme und Technologien hinsichtlich bestehender und neuer Bedrohungs- und Gefährdungslagen untersuchen und bewerten.

Ziel ist es, Lagebilder mit Hilfe geeigneter Key Performance Indikatoren (KPI) echtzeitnah auszuwerten und die Sicherheitslage von maritimen Infrastrukturen zuverlässig und vollumfänglich zu erfassen. Dies betrifft Hafenanlagen, die maritime Infrastruktur (z. B. Windparks, Seekabel, Positionsanlagen, Transportwege zum Hafen im Umfeld, auf der Straße und der Schiene), die Einbindung der dazugehörigen Kommunikationstechnologie, die Überwachungsanlagen in den Häfen, den Schiffsverkehr und die internationalen Seewege

als Grundlage des deutschen Exports und Imports von Wirtschaftsgütern.

Die Gewährleistung der Sicherheit im maritimen Bereich soll durch die Verwendung neuartiger Sensor- und Softwaresysteme in Verbindung mit kommerziell verfügbaren Technologien erfolgen.

Die Kernaufgabe der Forschungsgruppe Technologieerprobungssysteme ist der Betrieb land-, unterwasser- und luftgestützter Erprobungsträger, um neuartige Sensorik im Anwendungskontext erproben und validieren zu können.

Insbesondere die Überwachung von Hafenanlagen im Nahbereich erfordert neue Wege zu einer echtzeitnahen Nutzung und Auswertung von hochauflösenden Schrägsichtsystemen. Eine vollumfängliche Überwachung ist zunehmend mit der Forderung und Notwendigkeit automatisierter Auswerteverfahren bis hin zur automatisierten Objektidentifikation verknüpft.

Die Nutzung von mobilen Schrägsichtsystemen offenbart ihrem Anwender zahlreiche neuartige Funktionen, welche weit über die Nutzbar-

keit von ortsfesten Videokameras hinausgehen. Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Systeme lassen sich Arbeiten im Bereich der Betriebssicherheit, Überwachung und der Vermessung teilweise sogar stark automatisiert erfüllen. Schrägsichtsysteme beschränken sich nicht nur auf Kamertechnologien, sondern umfassen zusätzlich die bildgebende Darstellung durch die Nutzung von Laserscanverfahren und Sonartechnologie im Unter-Wasser-Bereich. Die Verknüpfung von Daten unterhalb der Wasseroberfläche mit photogrammetrischen Aufnahmen aus der Luft wird hier am Beispiel eines Hafensbeckens gezeigt.

Multikopter

Als Sensorplattform dient der Multikopter DJI Matrice M210 V2 RTK. Das Fluggerät erlaubt eine Nutzlast von 1,3 kg bei einem maximalen Startgewicht von 6,1 kg. Die Flugzeit liegt dank zwei großen Lithium-Polymer Akkus bei rund 30 Minuten, was die Vermessung von großen maritimen Arealen mit nur wenigen Zwischenstopps erlaubt. Die Bestimmung von präzisen Positionskoordinaten wird durch eine Referenzstation in Form eines Real-Time-Kinematik-Systems (RTK) unterstützt, was eine Genauigkeit von 1 bis 2 cm bietet und die Resistenz des Multikopters gegen magnetische Interferenzen erhöht.

Das frei verfügbare Software Development Kit (SDK) von DJI bietet eine Schnittstelle zur Erweiterung der vom Hersteller bereits angebotenen Funktionen zum teilautonomen Betrieb der Multikopter. Diese Möglichkeit wird durch kommerzielle Anbieter wie Litchi zur universellen wegpunktbasierten Missionsplanung oder Pix4D bei der Realisierung unterschiedlicher Photogrammetrie-Anwendungen genutzt. Auch komplett anwendungsspezifische, hochautomatisierte Arbeitsabläufe lassen sich so realisieren, ohne dafür auf die Vorteile hinsichtlich Verfügbarkeit, Preis und Verlässlichkeit eines kommerziellen Produkts verzichten zu müssen. Der autonome Betrieb der Multikopter ohne Pilot, der jederzeit die Steuerung übernehmen könnte, ist nach aktueller Rechtslage kritisch zu betrachten, technisch aber durchaus möglich.

Die Rohdaten für 3D-Rekonstruktionen liefert ein optischer Micro-4/3-CMOS-Sensor (Zemuse X55). Die Anbindung an den Multikopter ist mit einem Drei-Achsen-Gimbal mit Präzisionsmotoren realisiert, die eine Genauigkeit von $\pm 0,01^\circ$ erreichen. Die Auflösung des Sensors beträgt 20,8 Megapixel bei einem Field of View von 70° . Mit den Navigations- und Kompassdaten sowie der Ausrichtung der Kamera, welche in den Metadaten der Bilddateien gespeichert werden, lassen sich die Bildpunkte der Daten verknüpfen.

Autonomes Unter-Wasser-Fahrzeug

Für die Datenerzeugung unter Wasser wird das autonome Unter-Wasser-Fahrzeug (AUV) Sea-

Cat der Marke Atlas Elektronik verwendet (Kalwa 2019). Dieses ist unter anderem mit einem Norbit WBMS-Fächerlot ausgestattet, welches zur Generierung der Bathymetriedaten eingesetzt wird. Diese werden im Anschluss mit den Navigationsdaten des AUVs prozessiert, um eine ausreichende Genauigkeit zu erhalten. Für das Prozessieren der Sonardaten wird SonarWiz verwendet. Um die Bathymetriedaten mit den Photogrammetriedaten zu fusionieren, ist es notwendig, diese auf miteinander kompatible Formate zu transferieren. SonarWiz erlaubt unter anderem den Export der Bathymetriedaten in das XYZ-Format, in dem sie mit einer Punktwolke aus Photogrammetriedaten vereint werden können.

3D-Visualisierung von Kaianlagen

Zur Demonstration der Möglichkeiten beim Einsatz von Multikoptern in der Vermessung und Inspektion wurden mit dem beschriebenen System aus Multikopter und Kamera Kaianlagen in Bremerhaven und Nordenham befliegen. Dazu wurden zunächst Trajektorien erzeugt, entlang derer sich der Multikopter bewegt und auf welchen die Kamera in festgelegten Abständen Bilder aufzeichnet. [Abb. 1](#) zeigt eine Trajektorien- und Flugroutenplanung, welche mit dem kommerziellen Programm Pix4Dcapture erstellt wurde. Sie stellt sicher, dass alle Objekte innerhalb des markierten Gebietes aus einem bestimmten Blickwinkel erfasst sind. Für die 3D-Rekonstruktion komplexer Strukturen müssen die Objekte von allen vier Seiten und von oben, also insgesamt aus fünf verschiedenen Blickwinkeln, aufgenommen werden. Daraus resultieren für das Areal von 243 m \times 165 m aus [Abb. 1](#) fünf Trajektorien, für die das System insgesamt etwa 45 Minuten benötigt. Einfache Objekte wie die Spundwand in [Abb. 2](#) lassen sich auch mit weniger Aufwand sehr detailliert darstellen. Das hier gezeigte 3D-Modell ist aus einem einzigen geradlinigen Flug entstanden. So kann nach etwa 10 Minuten Flugzeit ein Kilometer Spundwand in dem aufgezeigten Detaillierungsgrad modelliert

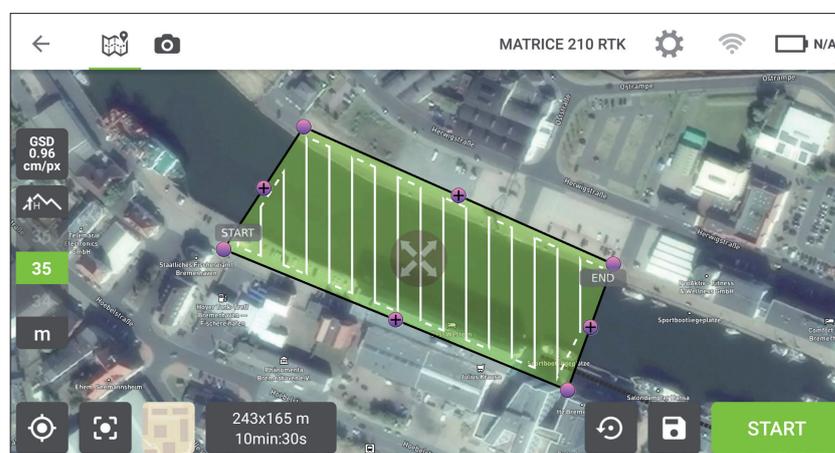


Abb. 1: Planung der Trajektorien des Multikopters mit der Software Pix4Dcapture

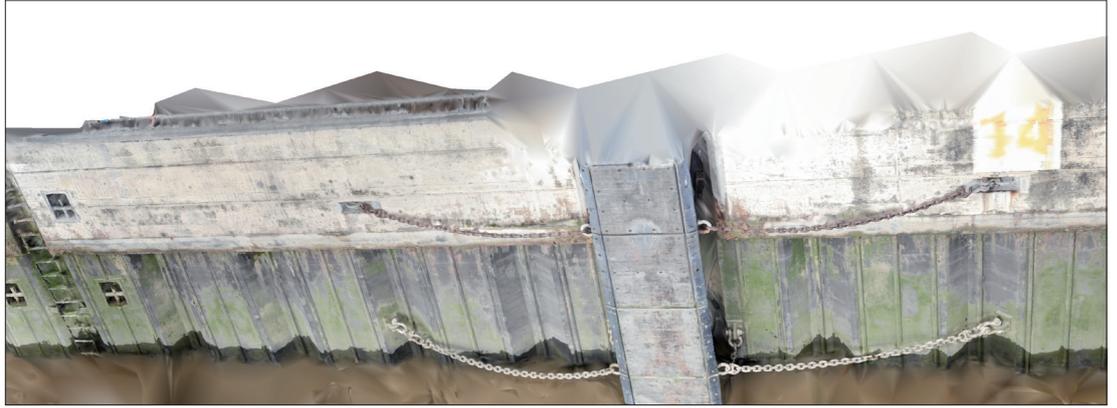


Abb. 2: Ergebnis einer Spundwandinspektion nach nur einem Überflug, dargestellt mit RealityCapture

werden. [Abb. 3](#) zeigt den Ausschnitt eines 3D-Modells einer Kaianlage mit davor liegendem Steg. Aufgrund der erhöhten Komplexität der Szenerie wurde die Kaimauer in drei verschiedenen Höhen befliegen, was die Anzahl der verknüpfbaren Bildpunkte und damit die Qualität der Rekonstruktion erhöht.

Mit Hilfe von Photogrammetriesoftware, wie Pix4Dmapper oder RealityCapture, werden aus den Bildern sowie der Position und der Orientierung der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme Punktwolken berechnet. Durch die Kombination von zwei oder mehr korrespondierenden Bildpunkten von Bildern aus unterschiedlichen Positionen und Blickwinkeln lassen sich die Ausgangspunkte dreidimensional berechnen. Um Bauwerke zu inspizieren, ist eine hohe Auflösung der Bilder erforderlich, damit eine hohe Punktdichte errechnet werden kann. Ein entscheidender Vorteil bei der Verwendung von Kameras als Datenquelle im Vergleich zu Laserscannern oder Sonarsystemen ist, dass aus der Punktwolke und den Originaldaten anschließend ein texturiertes Modell generiert werden kann. Anhand dieser Art von Modell lassen sich sehr genaue Aussagen zum Zustand des inspizierten Bereichs tätigen.

Verknüpfung von Punktwolken über und unter Wasser

Über das Format der Punktwolke (z. B. das XYZ-Format) können Daten unterschiedlicher Sensoren fusioniert werden. In der maritimen Welt entsteht so eine Schnittstelle zwischen optischen Sensoren über und akustischen Sensoren unter Wasser. In [Abb. 4](#) wurde diese Möglichkeit dazu genutzt, um eine Szene im Museumshafen von Bremerhaven zu visualisieren. Die mit AUV und Fächerlot aufgenommenen Bathymetriedaten und die aus den Aufnahmen von Multikopter und Kamera über Photogrammetrie errechneten Punktwolken des Museumsschiffs *Seute Deern* wurden in einer Darstellung zusammengeführt. Dadurch entsteht ein dreidimensionaler Gesamtüberblick über die Situation vor Ort. Die Szene wurde mit der Software NaviModel Viewer zusätzlich in vorhandenes Kartenmaterial eingebettet.

Ausblick

Die anwendungsspezifische Gestaltung autonomer und automatisierter Funktionen bietet ein großes Potenzial in der Steigerung der Effizienz von Prozessen in den Bereichen Überwachung und Vermessung maritimer Infrastrukturen sowie die Kartierung von Veränderungen durch Change

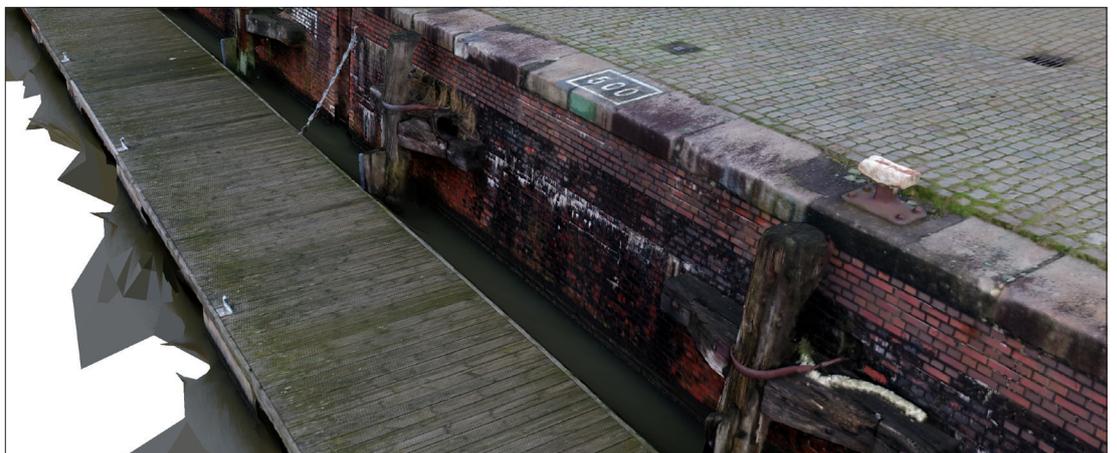


Abb. 3: Ergebnis einer Kaimauerinspektion mit Überflügen in drei unterschiedlichen Höhen, dargestellt mit RealityCapture

