

Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

06/2026

HN 134

Hydrographie
im Kontext der
Nachhaltigkeit



Beiträge vom
38. Hydrographentag
und DVW-Seminar



Aus der Tiefe in die Cloud

Hafeninfrastruktur erfassen, analysieren und managen

Ein Beitrag von BERIT JOST

Bauwerksinspektion | digitaler Zwilling | Schadensindikator
building inspection | digital twin | damage indicator

Autorin

Dr. Berit Jost ist CTO bei der HydroMapper GmbH in Hamburg.

berit.jost@hydromapper.de

1 Einleitung und Motivation

Ein großer Teil der Hafen- und Wasserstraßeninfrastruktur in Europa befindet sich in einem fortgeschrittenen Alterungsprozess, wodurch der Bedarf an effizienten, skalierbaren und objektiven Inspektionsmethoden stetig wächst. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit dieser kritischen Infrastrukturen kontinuierlich. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, dass wesentliche Teile dieser Bauwerke, häufig bis zu 50 %, unterhalb der Wasserlinie liegen und somit schwer zugänglich sind. Konventionelle Inspektionsmethoden, insbesondere tauchergestützte Einzeluntersuchungen, liefern nur punktuelle Informationen und sind zeit- sowie kostenintensiv. Dadurch entstehen erhebliche Wissenslücken hinsichtlich des tatsächlichen Zustands der Bauwerke.

Vor dem Hintergrund nachhaltiger Infrastrukturentwicklung wird eine ganzheitliche, datengetriebene Betrachtung erforderlich, die sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigt. Ziel dieses Beitrags ist es, einen durchgängigen digitalen Workflow vorzustellen, der die hydrographische Datenerfassung, intelligente

Datenanalyse und cloudbasiertes Datenmanagement in einem digitalen Zwilling vereint. Dazu stellt dieser Beitrag Ergebnisse und Erkenntnisse aus den vom Bundesministerium für Verkehr geförderten Forschungsprojekten »3D-Hydromapper«, »port_AI« und »port:Evolution« vor und diskutiert deren Potenzial für die Weiterentwicklung des Hafeninfrastrukturmanagements. Es wird gezeigt, wie durch die Kombination aus moderner Unterwasservermessung und intelligenter Datenplattform neue Formen der Datennutzung und Entscheidungsunterstützung realisiert werden können. Ziel ist es, die Rolle digitaler Technologien im hydrographischen Kontext zu beleuchten und Impulse für deren zukünftige Anwendung zu geben.

2 Multimodale Datenerfassung

Die Grundlage dieses Ansatzes bildet eine multimodale Datenerfassung, bei der sowohl über als auch unterhalb der Wasserlinie Daten aufgenommen werden. Das Messsystem wurde mit Fokus auf die dreidimensionale Erfassung von Unterwasserstrukturen in Hafenbecken und Wasserstraßen konzipiert. Es wurde eine Messplattform entwickelt, die Infrastruktur unter Wasser aufnimmt, um gezielt geometrische Anomalien im Bauwerk zu finden und eine Grundlage für Taucher bei der Bauwerksinspektion zu liefern. Die patentierte Aufnahmetechnologie durch einen höhenverstellbaren und geneigten Sensorkopf liefert hochauflösende und vollständige 3D-Daten des Bauwerks.

Unter Wasser erfolgt die geometrische Erfassung mit einem Multibeam-Echosounder (Hydro-Scanning), während oberhalb der Wasserlinie Laserscanning und photogrammetrische Methoden eingesetzt werden (Abb. 1).

Das Endprodukt der Vermessung unter Wasser ist eine hochaufgelöste Punktwolke generiert aus Sonardaten. Über Wasser entsteht sowohl eine Punktwolke, aufgenommen mit einem Profillaserscanner, sowie eine hochaufgelöste Vermaschung, generiert aus Bilddaten, die mit einem speziell angefertigten Kamerasystem aufgenommen werden (Abb. 2 und Abb. 3).

Durch die Kombination dieser Sensorik entsteht



Abb. 1: Vermessungsboot LUX mit Multibeam-Echosounder, Profillaserscanner und Kamerasystem

ein vollständiges, georeferenziertes Abbild der Infrastruktur, das sowohl die globale Geometrie als auch, zumindest über Wasser, feine Schadensmerkmale erfasst.

3 Datenanalyse: Automatisierung und KI-gestützte Verfahren

Das Ziel der Datenanalyse ist die Zustandserfassung maritimer Infrastruktur. Unter Wasser erfolgt die Schadensdetektion primär über geometrische Abweichungen von Referenzmodellen oder der lokalen Umgebung, während oberhalb der Wasserlinie zusätzlich hochauflösende Bilddaten genutzt werden. Beispiele für Schäden sind in [Abb. 4](#) dargestellt.

Die Verarbeitung der Unterwasserdaten erfordert spezielle Algorithmen, da die Standardsoftwareprodukte oftmals nicht auf die hochauflösende Vermessung vertikaler Bauwerke spezialisiert sind. Aufgrund der charakteristischen Eigenschaften sonarbasierter Daten, wie Rauschen, Abschattungen und variierende Punktdichten, ist eine robuste Vorverarbeitung essenziell.

Im vorgestellten Workflow kommen verschiedene Machine-Learning-Ansätze zum Einsatz, die eine weitgehende Automatisierung der Datenanalyse ermöglichen. Dazu gehören:

- Ausreißerererkennung und -bereinigung,
- Segmentierung von Wand- und Bodenstrukturen,
- Detektion geometrischer Anomalien (zum Beispiel Neigungen, Verformungen).

[Abb. 5](#) zeigt den Workflow von unbereinigter roher Punktwolke, über die bereinigte und segmentierte Punktwolke zu einer Darstellung auffälliger Geometrieanomalien, wie zum Beispiel Neigungen und Verdrehungen der Spundbohlen.

Diese Verfahren erlauben es, relevante Veränderungen im Bauwerkszustand systematisch zu identifizieren. Auffällige Bereiche werden automatisch als potenzielle Schadensindikatoren (Points-of-Interest) markiert und in den digitalen Zwilling integriert, wodurch eine systematische und reproduzierbare Identifikation kritischer Bereiche ermöglicht wird.

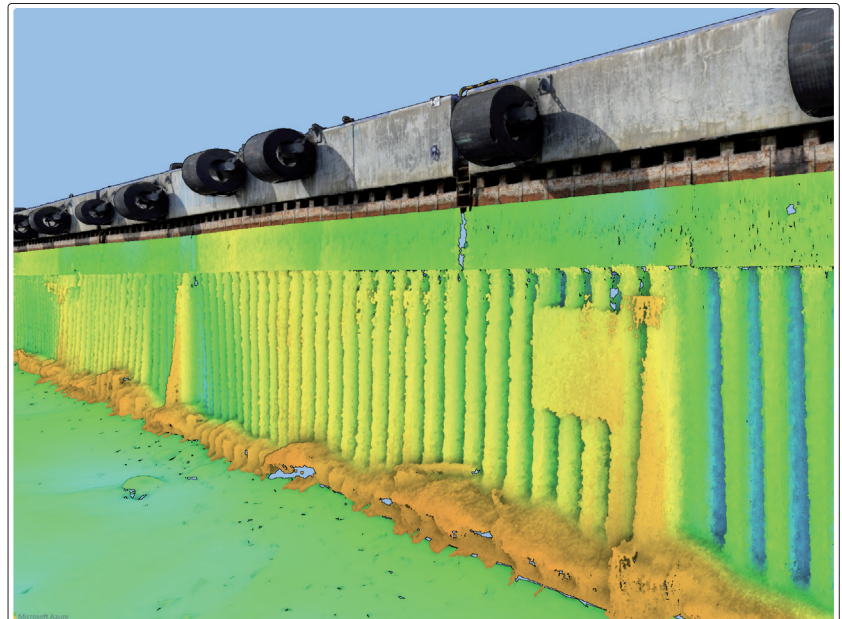


Abb. 2: Ergebnis der Vermessung: Punktwolke unter Wasser und hochauflösende Vermaschung über Wasser

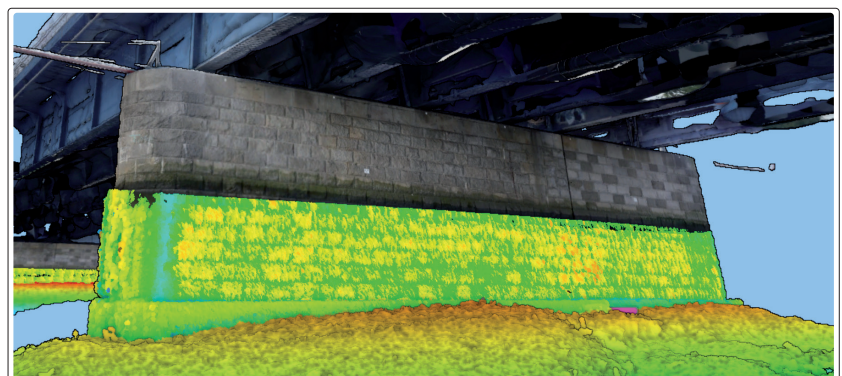


Abb. 3: Ergebnis der Vermessung eines Brückenpfeilers

Für den oberhalb der Wasserlinie liegenden Bereich wird die Schadensdetektion durch den Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens weiter automatisiert. Hochauflösende Bilddaten, die mittels photogrammetrischer Verfahren erzeugt werden, ermöglichen die Detektion feiner Strukturen wie Risse, Abplatzungen oder Korrosionserscheinungen. Auf dieser Grundlage werden neuronale Netze zur semantischen Segmentierung und

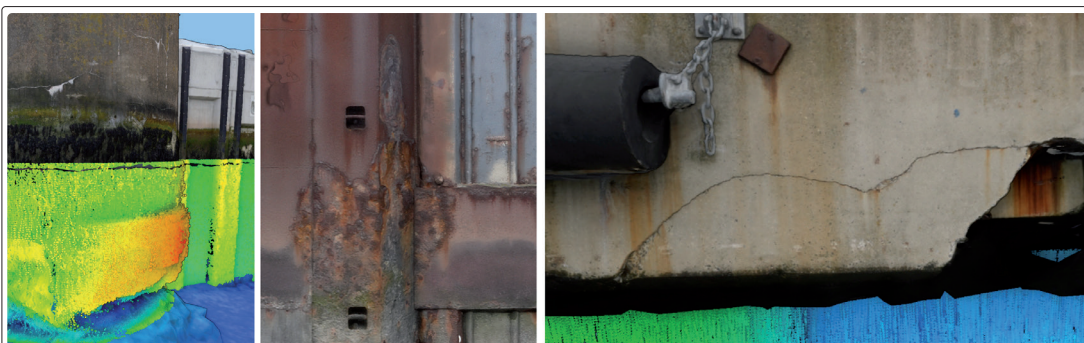
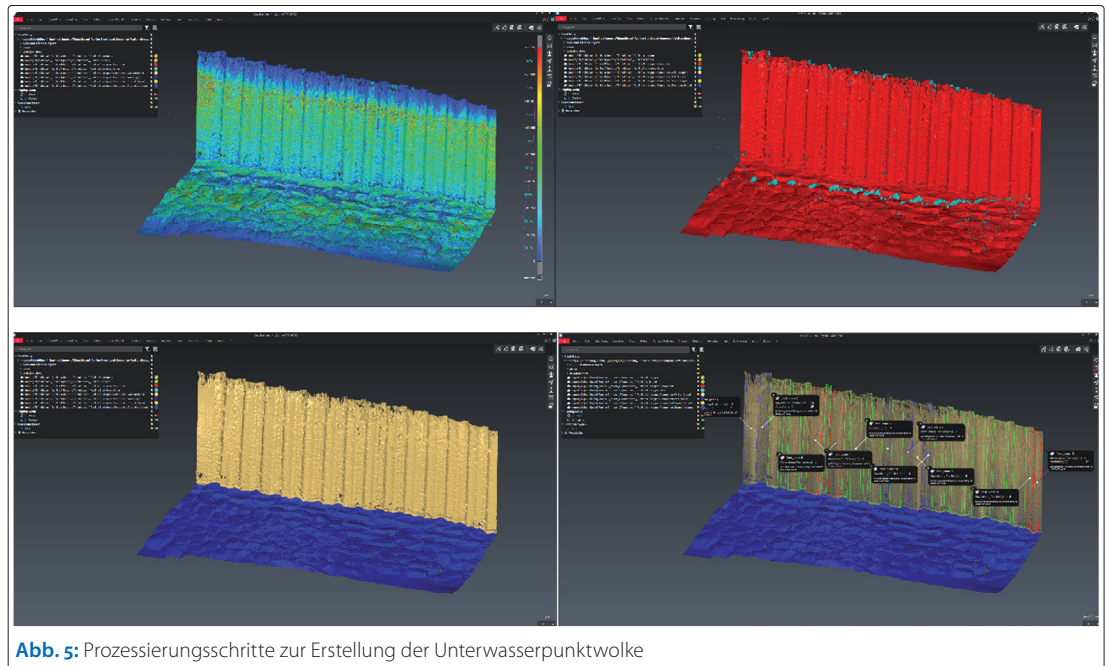


Abb. 4: Darstellung von Schäden in maritimen Bauwerken



Objekterkennung eingesetzt, um Schäden automatisiert zu klassifizieren und räumlich zu verorten (Abb. 6). Dazu wurden ca. 25 000 Bilder maritimer Infrastruktur gelabelt und für das Training eines neuronalen Netzes verwendet. Die detektierten Schadensinformationen werden anschließend mit den 3D-Daten fusioniert und georeferenziert im digitalen Zwilling abgelegt. Die Kombination aus geometrischer und semantischer Analyse führt zu einer deutlich verbesserten Detektionsgenauigkeit und ermöglicht eine quantitative Bewertung von Schäden.

4 Datenmanagement: Digitaler Zwilling und Cloud-Integration

Die Daten werden unmittelbar in eine cloudbasierte Umgebung überführt, in der sie zusammengeführt, visualisiert und für weitere Analysen bereitgestellt werden. Diese zentrale Datenhaltung bildet die Grundlage für einen digitalen Zwilling, der als Informationsdrehscheibe für alle weiteren Prozessschritte dient. Abb. 7 stellt die verschiedenen Datenarten dar. Die in Falschfarben dargestellte Punktwolke zeigt die Unterwasserdaten,

die Daten in Realfarben zeigen die Vermaschung der Überwasserdaten, die Kreise stellen Schäden verschiedener Schadensklassen und die pinken Dreiecke Points-of-Interest dar. Die sechseckigen Symbole zeigen die Position von 360°-Panoramen.

Die Kombination aus automatisierter Punktwolkenverarbeitung, KI-basierter Bildanalyse und multimodaler Datenfusion ermöglicht eine durchgängige Digitalisierung des Inspektionsprozesses. Dadurch können Schäden nicht nur effizienter erkannt, sondern auch quantitativ erfasst und hinsichtlich ihrer Ausdehnung bewertet werden. Diese Informationen bilden die Grundlage für eine automatisierte Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen sowie für die Integration in weiterführende Planungsprozesse, einschließlich Kostenabschätzung und zeitlicher Ablaufplanung.

Darüber hinaus eröffnet die Verfügbarkeit strukturierter und vernetzter Daten neue Perspektiven für die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure. Hafenbetreiber, Behörden, Ingenieurbüros und Dienstleister können auf eine gemeinsame Datenbasis zugreifen und diese gemeinsam nutzen. Dies



Abb. 6: Ergebnis der KI-basierten Schadensdetektion in Bilddaten

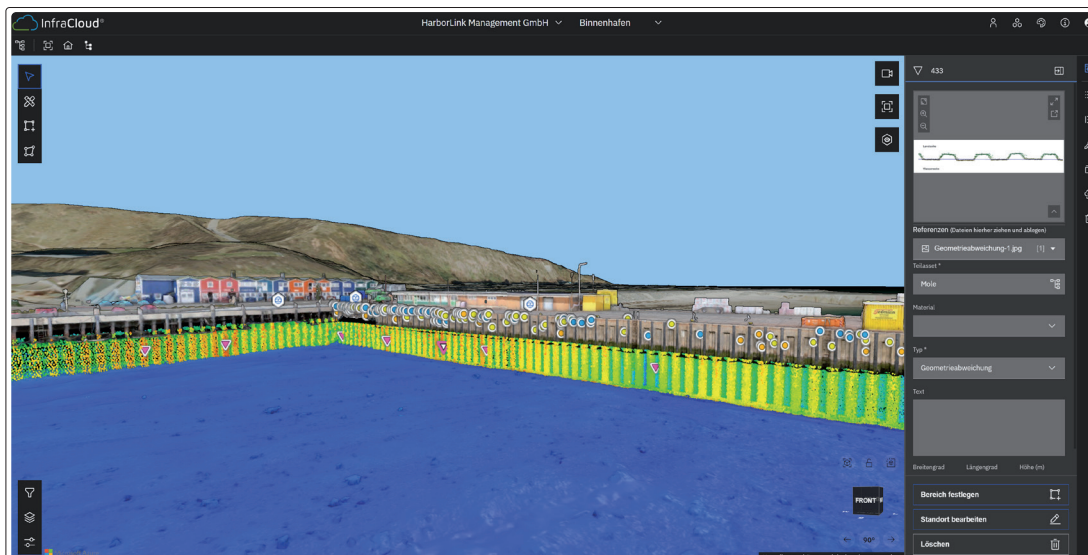


Abb. 7: Darstellung verschiedener Datenarten zum Infrastrukturmanagement in der InfraCloud

reduziert Informationsverluste an Schnittstellen und erhöht die Transparenz von Planungs- und Entscheidungsprozessen. Gleichzeitig können durch die Standardisierung von Datenformaten und Schnittstellen Interoperabilitätsprobleme reduziert werden, die bislang häufig eine effiziente Datennutzung behindern.

Im Kontext der Nachhaltigkeit kann mit einem strukturierten Datenmanagement und einer visuellen Darstellung und Dokumentation von Schadenshistorien frühzeitig in die Instandsetzung von Bauwerken eingegriffen werden, um längerfristige

Kosten zu reduzieren und die Lebensdauer von Bauwerken zu verlängern.

Insgesamt verdeutlicht dieser Beitrag, dass die Integration von hochauflösender Datenerhebung und leistungsfähiger Datenanalyse einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung der Hafeninfrastruktur leisten kann. Der Ansatz »aus der Tiefe in die Cloud« steht dabei exemplarisch für eine durchgängige, datengetriebene Betrachtung von Infrastrukturen, die es ermöglicht, komplexe Systeme besser zu verstehen, Risiken frühzeitig zu erkennen und Ressourcen effizient einzusetzen. //