

# 3D HydroMapper – Ein innovatives Messsystem für die Erfassung, Prüfung und das Management von Wasser-Infrastrukturbauwerken

## 3D HydroMapper – An Innovative Measurement System for the Detection, Testing and Management of Water Infrastructure Structures

Christian Hesse | Karsten Holste | Ingo Neumann | Ralf Esser | Michael Geist

### Zusammenfassung

Für die hochauflösende Erfassung von Verkehrswasserbauwerken werden seit Ende 2018 im Rahmen eines BMVI-geförderten Konsortiums zwei innovative Messsysteme auf Multi-Sensor-Basis sowie verschiedene KI-basierte Auswerteverfahren zur automatischen Prozessierung von 3D-Massendaten entwickelt und in mehreren Praxisprojekten erprobt. Diese Systeme und Verfahren helfen sowohl bei der Zustandserfassung und -bewertung von Infrastrukturbawerken im Rahmen wiederkehrender Bauwerksprüfungen als auch bei der Steuerung und Qualitätssicherung von komplexen Bauprozessen für Infrastrukturbetreiber, Ingenieurbüros und Bauunternehmen.

**Schlüsselwörter:** Multi-Sensor-System, Building Information Modeling (BIM), KI-Verfahren, Wasserbau, Hydrographie

### Summary

*Within the framework of a consortium funded by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI), two innovative measurement systems based on multi-sensors as well as various AI-based evaluation methods for the automatic processing of 3D mass data are being developed since end of 2018 and tested in several practical projects. These systems and procedures help both in the condition recording and assessment of infrastructure structures within the scope of recurring structure inspections and in the control and quality assurance of complex construction processes for infrastructure operators, engineering offices and construction companies.*

**Keywords:** Multi-sensor system, Building Information Modeling (BIM), AI methods, hydraulic engineering, hydrography

## 1 Einleitung

Die Alterung der Verkehrsinfrastruktur schreitet in den meisten Industrienationen national wie international stark voran. Während dieses Thema in der öffentlichen Wahrnehmung überwiegend mit Straßen und Brücken in Verbindung gebracht wird, unterliegen insbesondere auch

Verkehrswasserbauwerke wie Kaimauern, Schleusen und Wehre einem kontinuierlichen und mittlerweile fortgeschrittenen Alterungsprozess.

Im Jahr 2017 erfolgte in den deutschen Seehäfen ein Güterumschlag von 300 Millionen t auf einer Kaimauerlänge von etwa 140 km, also rund 2 Millionen t pro km. Müssen Kaimauern an Terminals, die auf spezielle Formen des Güterumschlages zugeschnitten sind, außer Betrieb genommen werden, so stellt dies nicht nur Logistikunternehmen, sondern auch die Hafentreiber vor größere Herausforderungen. Dies gilt vor allem, da Ausweichmöglichkeiten bei Kaimauern in deutlich geringerer Anzahl vorhanden sind, als dies bei Straßen und Brücken der Fall ist.

Insgesamt existieren in Deutschland etwa 3000 km Uferwände in Häfen und an Wasserstraßen sowie rund 2500 Verkehrswasserbauwerke entlang der Bundeswasserstraßen. Ihr Bruttoanlagevermögen wird mit etwa 50 Mrd. Euro bewertet.

Im Hinblick auf das Alter dieser Anlagen und Bauwerke ermittelten Studien, dass 80 % der Schleusen und Wehre älter als 50 Jahre und 30 % sogar älter als 100 Jahre bei einer theoretischen Gesamtlebensdauer von 80 bis 100 Jahren sind. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) geht davon aus, dass sich etwa 70 % der Anlagen nur noch in einem ausreichenden oder ungenügenden Zustand befinden (BAW 2018). Laut Bundesverkehrswegeplan sollen bis zum Jahr 2030 insgesamt 16,2 Mrd. Euro in die Erhaltung und den Neubau von Bundeswasserstraßen fließen.

Die Notwendigkeit, Verkehrswasserbauwerke nicht nur über, sondern insbesondere auch unter Wasser kontinuierlich auf ihren Erhaltungszustand hin zu überprüfen, um Instandhaltungsmaßnahmen möglichst frühzeitig und schadensminimierend einzuleiten, erschließt sich bei Betrachtung dieser Zahlen leicht.

Aus dieser Motivation heraus wurde im Jahr 2018 das 3D HydroMapper Konsortium gegründet, in welchem verschiedene Betreiber von Hafen- und Wasserinfrastruktur, wissenschaftliche Forschungseinrichtungen sowie innovative Ingenieurbüros zusammengeschlossen sind. Hierzu zählen die Ingenieurbüros Dr. Hesse und Partner, die WKC Hamburg GmbH, das Geodätische Institut der Leibniz Universität Hannover, das Fraunhofer IGP aus Rostock sowie der größte deutsche Seehafenbetreiber Niedersachsen

Ports und die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hesse et al. 2019b).

Die Umsetzung dieser anspruchsvollen System- und Methodenentwicklungen erfolgt im gleichnamigen und durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten F&E Projekt. Ziel des Forschungsprojektes 3D HydroMapper ist die Entwicklung neuartiger und innovativer Messverfahren, Technologien und Auswertemethoden zur hochgenauen Bestandserfassung über und unter Wasser sowie deren automatisierte Prozessierung und Nutzung für den Betrieb der Infrastruktur.

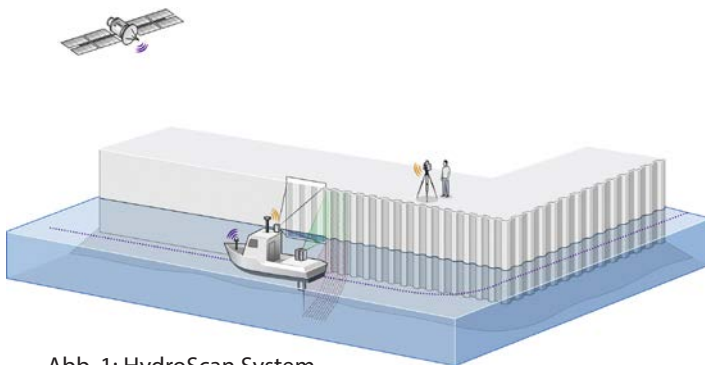


Abb. 1: HydroScan System

Die hier gewonnenen 3D-Daten sollen zukünftig Betreibern, Planern sowie Bauunternehmen als Grundlage für die Digitalisierung von Bauprozessen und der Einführung der BIM-Methodik dienen.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anforderungen durch örtliche Rahmenbedingungen, Zugänglichkeiten sowie die Einsetzbarkeit im Bauprozess werden aktuell zwei unterschiedliche Multi-Sensor-Systeme für die Unterwassererfassung von hochauflösenden 3D-Daten entwickelt.

Das HydroScan System (Abb. 1) ist auf langgestreckte Anlagen wie Kaimauern, Uferanlagen, Schleusen und Wehre optimiert, wohingegen das VertiScan System (Abb. 8) für sehr tiefe und mit Wasser geflutete Baugruben mit einer Tiefe von bis zu 30 m konzipiert wurde.

## 2 Stand der Technik bei der Erfassung und Prüfung von Wasserbauwerken

Die Lebensdauer- beziehungsweise Erhaltungsmanagementsysteme werden derzeit mit den individuell benoteten Schadensdaten – beispielsweise gemäß BAW-Merkblatt »Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken« (MSV) – basierend auf Bauwerksinspektionen gepflegt, sodass ein vergleichsweise intensiver Personaleinsatz für das Lifecycle-Management erforderlich ist.

Die hierfür benötigten Bauwerksinspektionen werden oberhalb der Wasserlinie überwiegend als handnahe Sichtprüfungen durchgeführt. Unter Wasser funktioniert dies in aller Regel aufgrund eingeschränkter Sichtbedingungen nicht. Hier erfolgt die Bauwerksinspektion bei der über-

wiegenden Zahl der Bauwerke durch stichprobenartiges Abtasten durch einen Taucher, ebenso die essenzielle und systematische Spundwandresttdickenmessung nach ESM im Turnus von sechs Jahren.

Da sich rund 50 bis 70 % eines Wasserbauwerks unter Wasser befinden, werden wesentliche Bereiche der Konstruktionen somit bisher nur unvollständig untersucht. Eine Verknüpfung von Über- und Unterwasserprüfung ist nicht gegeben. Beim Abtasten des zu inspizierenden Bauwerks muss sich der Taucher in direktem Kontakt zum Bauwerk befinden. Gleichzeitig muss er besonders im Tidegebiet Strömungen oder unerwartete Hindernisse bewältigen, was zu erheblichen Diskontinuitäten in der Prüfung an untersuchten Flächen führt.

Im Mittelpunkt steht hierbei die Sicherheit des Einsatztauchers, der auf die sich verändernden Bedingungen reagieren muss. Die Schadensdaten sind wenig reproduzierbar und vom Taucher abhängig. Zudem sind Untersuchungen dieser Art kostenintensiv, weil die Bauwerksinspektionen zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit mit einer mindestens drei-, häufig jedoch vierköpfigen Tauchergruppe bei entsprechenden Tastgeschwindigkeiten und mit dem Einsatz von Schiffseinheiten als Basis durchgeführt werden.

Zu diesem Zweck werden im Verbundprojekt 3D HydroMapper eine mobile Träger- und Sensorplattform, neue und standardisierbare Methoden zur Bauwerksinspektion und insbesondere eine weitgehende Automation des Mess-, Auswerte- und Prüfungsvorganges entwickelt und integriert. Alleinstellungsmerkmale des Systems und der Prozesse sind die Reduktion von Sperrungen von Hafengebäuden für Tauchereinsätze, eine signifikante Verringerung der Gefährdung von Tauchern im Rahmen des händischen Prüfungsumfanges und eine dauerhafte, referenzierbare Dokumentation des Bauwerkszustandes mit der Möglichkeit der Erstellung und Fortschreibung von digitalen Bauwerksmodellen.

Weiterhin ist der Tauchereinsatz für die essenziellen Spundwanddickenmessungen erforderlich sowie für die Reinigungsarbeiten der Bauwerke und das Entfernen des starken Muschelbewuchses im Küstenbereich.

Durch Einsatz des 3D HydroMapper Systems wird erstmalig auch die Transparenz und Reproduzierbarkeit der Prüfungsvorgänge gewährleistet, da subjektive manuelle Vorgänge durch automatisierte und digitale Verfahren ersetzt werden. Somit können Umschlagsprozesse beschleunigt und besser geplant werden, indem Prüf- und Instandsetzungsmaßnahmen besser und schneller durchgeführt werden können. Neben diesen Vorteilen ergeben sich durch die standardisierten Methoden zur Bauwerksinspektion zudem erhebliche Verbesserungspotenziale in den nicht durch die Geräteplattform prüfbaren Bauwerksbereichen. Hier können die im Rahmen der hybriden Bauwerksinspektion erstellten Schadenslisten und Schadensklassifizierungen ebenfalls durch smarte Technologien zur Anwendung kommen.

### 3 Aufbau des Multi-Sensor-Systems

#### 3.1 HydroMapper

Die kinematische und bildhafte Erfassung von Infrastruktur hinsichtlich der genauen Geometrie sowie des Vorhandenseins von Bauwerksschäden, vor allem im Bereich der Hafenanlagen, bedingt die Lösung von zwei wesentlichen Herausforderungen.

Zum einen muss die für die Erfassung verwendete Plattform in allen sechs Freiheitsgraden positionstechnisch mit hoher Messfrequenz erfasst werden und zum anderen ist das zu untersuchende Objekt über bildgebende Sensorik mit möglichst hoher räumlicher Auflösung abzutasten.

Zur Positionierung und Bestimmung der räumlichen Orientierung kann grundsätzlich auf die bekannten Sensortechnologien wie IMU und GNSS zurückgegriffen werden, die auch bei den bekannten Mobile-Mapping-Plattformen bereits vielfach zum Einsatz kommen. Während die IMU die räumliche Orientierung sowie eine relative Position mit mehreren Hundert Messungen pro Sekunde liefert, ist sie aufgrund von physikalischen Effekten mit einer mehr oder weniger starken Drift behaftet, die zur Verfälschung der unbekanntenen Zustandsgrößen führt.

Diese Schwäche wird größtenteils durch langzeitstabile Satellitenmessverfahren kompensiert, die sowohl die 3D-Position als auch das Heading des Messsystems bestimmen können, sofern wie beim HydroMapper System eine Zwei-Antennen-Konfiguration zum Einsatz kommt. Diese zeichnet die Signale der vier großen Globalen Satellitennavigationssysteme (GNSS) GPS, GLONASS, GALILEO und Beidou auf (Abb. 2).

Bei der Erfassung von großen Wasserbauwerken, insbesondere in Bereichen mit Warenumschlag, ist jedoch zu beachten, dass die Erfassung direkt an zum Teil sehr großen metallischen Spundwänden von 15 m Höhe und mehr oder unterhalb von Containerbrücken und Verladekränen erfolgt, bei denen eine erhebliche Verschlechterung des GNSS-Signals erwartet werden kann.

Um diesen Umstand zu kompensieren und eine selbst bei schwierigen GNSS-Umgebungen präzise Positionierung zu erreichen, wird beim HydroMapper System eine hybride



Abb. 2: Testfahrt mit der HydroMapper-Plattform mit Dual-GNSS und Profilschanner

Positionierungstechnik, bestehend aus IMU+GNSS sowie einer automatisch trackenden Totalstation eingesetzt. Hierbei wird die Position der Messplattform kontinuierlich über eine Leica MS60 Totalstation und 360 Grad Prisma kontinuierlich verfolgt, sodass im Falle von GNSS-Signalausbrüchen eine Stützung der Positionsschätzung im Kalman-Filter erfolgen kann.

Da sich das Tachymeter stets auf der Kaimauer und somit außerhalb der Messplattform befindet, ist hierzu jedoch eine sehr genaue Zeitsynchronisation zwischen IMU und Totalstation in der Größenordnung weniger Millisekunden notwendig. Dies gelingt über eine von Leica zur Verfügung gestellte Synchronisationssoftware sowie eine von HydroMapper entwickelte SyncBox mit Echtzeitrechner, welche für die Datenerfassung sowie die Synchronisierung mittels GPS-Zeit sorgt.

Die SyncBox ist zudem in der Lage, die Position des Tachymeters über Web-Services an die Messplattform zu übermitteln, um eine Echtzeitstützung der Positionierung zu ermöglichen (Abb. 3).

Eine weitere Herausforderung bei der hochauflösenden Erfassung von Bauwerken von Schiffen aus ist die Notwendigkeit einer möglichst langsamen und linearen Vorbeifahrt am Objekt. Insbesondere bei Schiffen gelingt dies aus mehreren Gründen nicht. Zum einen ist für die Manövrierfähigkeit von Schrauben getriebenen Schiffen eine

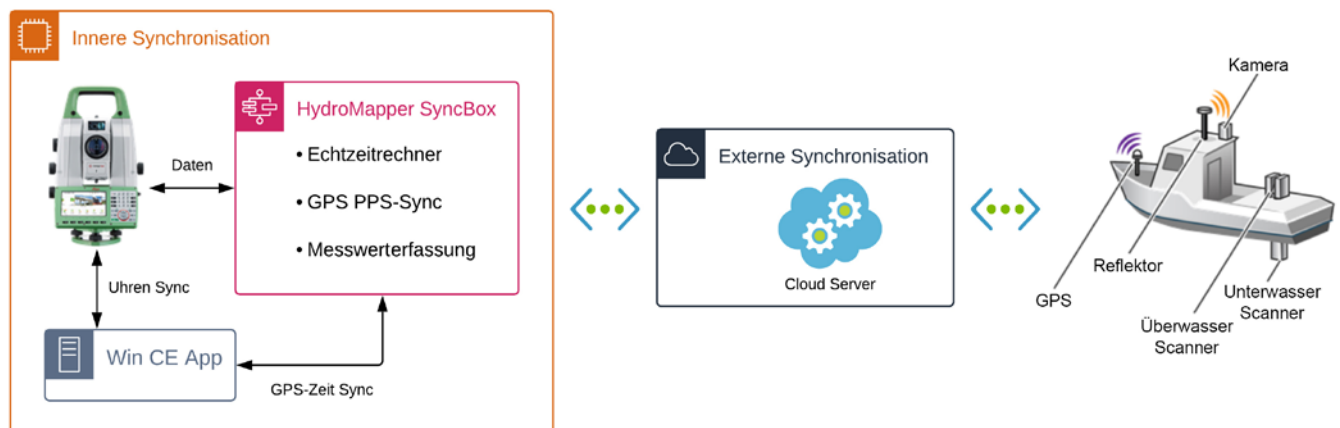


Abb. 3: Zeitsynchronisation Tachymeter – Messplattform



Mindestgeschwindigkeit notwendig, zum anderen wirken Querströmungen und seitliche Winde gerade bei langsamer Fahrt stark auf die Position und insbesondere das Heading von Schiffen und Booten.

Diese Rahmenbedingungen bedingen vergleichsweise große Sicherheitsabstände zur Kaimauer und führen häufig zu nicht idealen Auftreffwinkeln des Messsignals, was vornehmlich bei Unterwassersensoren zu signifikanten systematischen Effekten in der Punktwolke beiträgt.

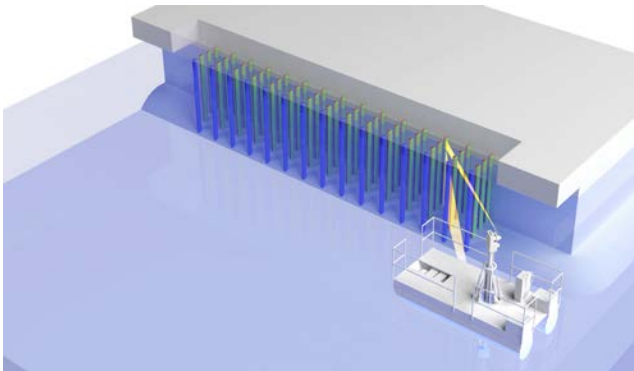


Abb. 4: 6-DOF Ausrichtung des Sensorträgers durch HydroMapper Hexapod System

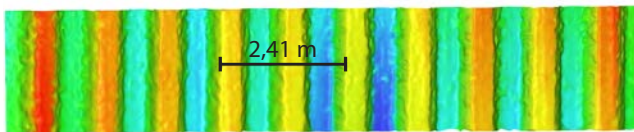


Abb. 5: Vermaschte Unterwasserpunktwolke einer Spundwand in 7 m Tiefe

Um dies zu verhindern, besitzt die HydroMapper-Messplattform zum einen mehrere Azipod-Antriebe, welche eine kontinuierliche Heading-Korrektur während der Messfahrt ermöglichen, und zum anderen ein sogenanntes Hexapod System, mit welchem der Sensorträger – vergleichbar mit der Kabine eines Flugsimulators – um alle sechs Freiheitsgrade bewegt werden kann. Hierdurch lassen sich nicht nur Verschattungen am Objekt durch gezielte Drehung des Sensorträgers beseitigen oder Rollen und Stampfen der Schiffsplattform kompensieren, sondern es können auch bei Parallelfahrt stets optimale Auftreffwinkel auf die Objektoberfläche und somit eine maximale Datenqualität gewährleistet werden (Abb. 4).

Das Messprinzip mit der über das Hexapod Modul ausgerichteten Sensorplattform sowie der hybriden Positionierung durch IMU/GNSS sowie Totalstation sorgt somit für eine bisher nicht erreichte Datenqualität in der Unterwasservermessung von Bauwerken (Hesse et al. 2019a).

Abb. 5 zeigt die vermaschte Unterwasserpunktwolke einer Aufnahme im Hamburger Hafen in 7 m Tiefe, aus der das Potenzial dieser Technologie sehr gut hervorgeht. Die hier vorhandenen Spundbohlen haben eine Soll-Elementbreite von 60 cm, aus der Punktwolke konnte über vier Spundbohlen eine Ist-Strecke von 2,41 m gemessen werden. Neben den Abständen der Spundbohlen konnten in

dieser Messung außerdem Profilwechsel der Wand in Form von Typänderungen der verwendeten Spundbohlen sowie Positionsvariationen an der Vorderseite, zurückgehend auf den Einbringvorgang, nachgewiesen werden.

### 3.2 VertiScan

Eine weitere und bisher nicht gelöste Messaufgabe im Bereich der Infrastrukturbauvorhaben ist die durchgreifende Qualitätssicherung bei der Herstellung tiefer Baugruben und Schachtbauwerke während des eigentlichen Bauprozesses. Im Rahmen der Produktionskontrolle von Tiefgründungen, der Baugrubenumschließung und des Bodenaushubs ergeben sich jedoch Herausforderungen, die unbeantwortet zu erheblichen Verzögerungen im Bauablauf oder zu sehr hohen Mehrkosten bei der Herstellung von Ingenieurbauwerken führen können.

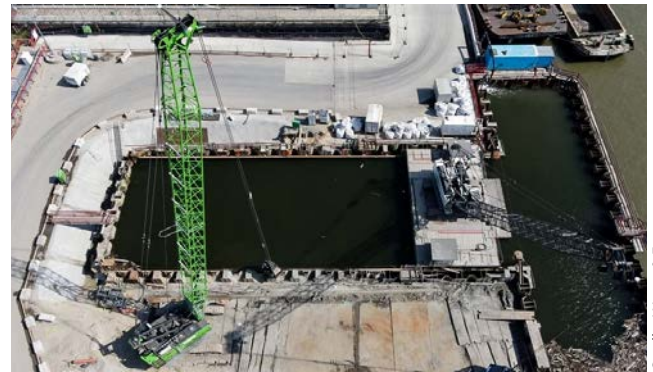


Abb. 6: Baustelle 5. Schleusenammer Brunsbüttel

Aufgrund von notwendigen Aussteifungen unterhalb der Wasseroberfläche, vielen metallischen Bauteilen in der direkten Umgebung, zahlreichen Einschränkungen der Messumgebung durch den Bauablauf und einer insgesamt herausfordernden Georeferenzierung konnten konventionelle Messsysteme hier bislang nicht sinnvoll eingesetzt werden.

Zu diesem Zweck wurde das VertiScan System entwickelt (Holste et al. 2019 und Abb. 7) und zum Patent angemeldet, mit dem Baugruben bis zu einer Tiefe von 30 m sehr schnell und hochauflösend erfasst werden können. Dieses besteht aus einer mit verschiedenen redundanten Sensoren bestückten Messplattform, die auf unterschiedliche Baufahrzeuge adaptiert werden kann, einer Sensorstabverlängerung zur Anpassung an die Tiefe der jeweiligen Bauwerke sowie einem Unterwasserscansystem.

Für die Positionierung kommt hier ebenfalls eine IMU/GNSS-Lösung (tactical grade IMU) zum Einsatz. Zusätzlich zu dieser Kombination wird die Drehung des Stabes über einen hochgenauen und mit den anderen Sensoren zeitsynchronisierten Inkrementalgeber gestützt, um die bei größeren Baugruben vergleichsweise hohen Objektentfernungen mit möglichst genauen Drehwinkeln erfassen zu können.

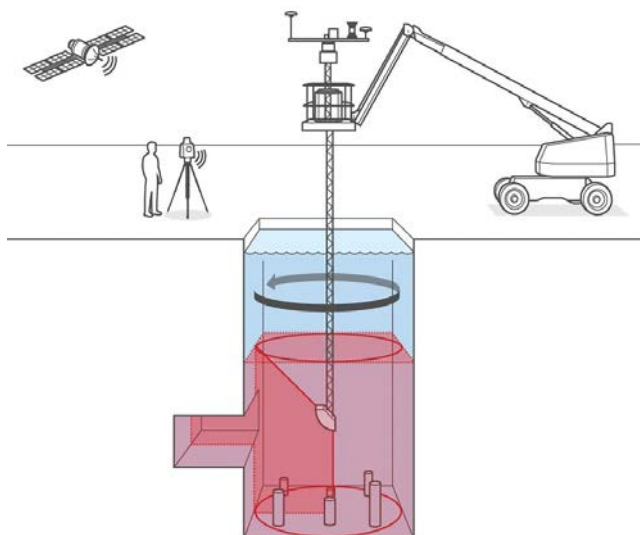


Abb. 7: VertiScan System von HydroMapper zur Erfassung tiefer Baugruben

Bedingt durch den notwendigerweise langen Sensorstab erfolgt eine Kalibrierung stets beim Zusammenbau vor Ort über Nahbereichsphotogrammetrie, was auch die genaue Bestimmung der Hebelarme von Scansystem, IMU, GNSS, und 360 Grad Prisma umfasst.

Bei ersten Testprojekten mit dem VertiScan System – wie beispielsweise im Rahmen des Baus der 5. Schleusenkammer in Brunsbüttel – konnte das enorme Potenzial dieser Technologie bereits erfolgreich nachgewiesen werden.

Abb. 8 zeigt die georeferenzierte Rohdatenpunktwolke einer 1200 qm großen Baugrube in 26 m Wassertiefe. Hier wurden auf Basis der erfassten Bestandsdaten drei für den Bauprozess zentrale Herausforderungen gelöst.

Zum einen konnte die Lage aller im Sohlbereich eingebrachten Pfähle überprüft und für die statische Berechnung mit hoher Zuverlässigkeit zur Verfügung gestellt werden. Zum anderen konnten die Taschenbereiche der Spundwände auf verbliebene Bentonit-Rückstände kontrolliert und Tauchereinsätze hierdurch zielgenau geplant werden. Nicht zuletzt war es aufgrund der hochauflösend erfassten Sohloberfläche der Baugrube möglich, die später real verbaute Menge an Ort beton mit einer Genauigkeit von etwa 0,5 % vorherzusagen.

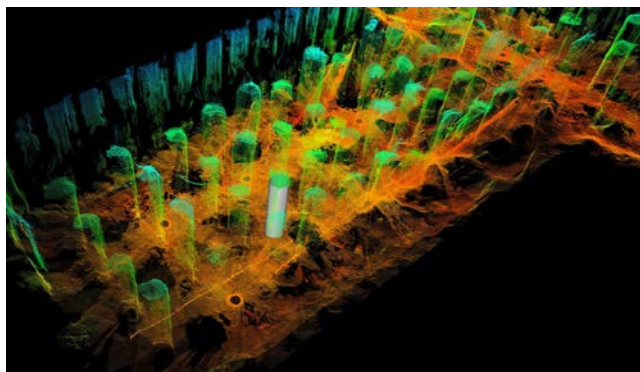


Abb. 8: VertiScan-Punktwolke einer Schachtsohle samt Pfahlköpfen mit modelliertem Pfahl in 26 m Wassertiefe

#### 4 Automatische Schadensdetektion durch KI-Verfahren

Der große Umfang und die Detailtreue der gewonnenen Daten ermöglichen vollkommen neue Möglichkeiten bei der Zustandsbeurteilung und insbesondere der Schadenserkennung bei Verkehrswasserbauwerken. Aufgrund der Gesamtkomplexität, des Bewuchses und der Sedimentbedingungen im Nordseebereich sind bei der Verwendung der Unterwasserdaten jedoch zusätzlich erschwerende Rahmenbedingungen vorhanden. Vor diesem Hintergrund sollen für die Schadenserkennung verschiedene KI-basierte Ansätze entwickelt und verfolgt werden.

Während sich die automatischen Lernverfahren bei den Unterwasserdaten auf die Erkennung von Anomalien (Andrews et al. 2016) aus 3D-Punktwolken der hydroakustischen Verfahren stützen, können bei den Überwasserdaten sowohl Bilder, Daten des Profil-Laserscanners oder eine Kombination von beiden genutzt werden, um bereits eine detaillierte Schadensklassifizierung durchzuführen.

Die Erkennung von Anomalien ist dabei als Spezialfall der Klassifizierung zu sehen, bei der lediglich eine Unterscheidung zwischen »Kein Schaden« und einem »Schadensverdachtsfall« getroffen wird. Im Speziellen kommen hierbei aktuell Verfahren des Local Outlier Factors (LOF) nach u. a. Breunig et al. (2000) zum Einsatz, welche verdächtige Daten, die durch Ausbrüche, Abplatzungen, Auswaschungen oder sonstige geometrische Auffälligkeiten begründet sein können, automatisch in der 3D-Punktwolke erkennen. Eine weitere automatische Klassifizierung und somit Unterscheidung der Daten erfolgt derzeit noch nicht, ist aber Gegenstand der laufenden Forschungsarbeiten.

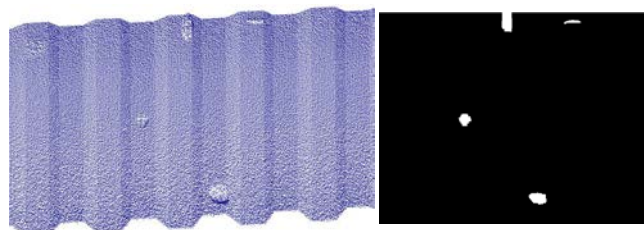


Abb. 9: Ergebnisse des LOF bei einer simulierten Schadenssituation an einer Spundwand

Die so gewonnenen Schadensverdachtspunkte durchlaufen eine manuelle Qualitätssicherung, indem sie abgetaucht und somit einer detaillierten Sichtprüfung unterzogen werden. Auf diese Weise kann quasi eine vollständige Schadensbeurteilung des Bauwerks bei gleichzeitig gezieltem und vom Umfang her wesentlich reduziertem Tauchereinsatz erfolgen. Abb. 9 zeigt ein exemplarisches Ergebnis einer Schadenserkennung. Der linke Teil bildet die 3D-Punktwolke ab und rechts sind die Schadensverdachtsfälle in Weiß hervorgehoben.

Bei der KI-basierten Datenanalyse der über Wasser erfassten Bild- und Punktwolken wird primär der Ansatz des Transfer-Learnings mit neuronalen Netzen verfolgt. Beispielsweise ermöglicht die Verwendung von mit natür-



lichen Bildern vortrainierten Netzen, wie das im Projekt genutzte VGG19 (Simonyan und Zisserman 2014), eine drastische Reduzierung von Trainingsdaten. So können die typischen Eigenschaften von Punkt- und Bilddaten aus den vortrainierten Layern des Neuronalen Netzes übernommen werden. Lediglich die spezifischen Eigenschaften der Schäden und z. B. des Messrauschens werden in Zusatzlayern für die spezifische Aufgabenstellung antrainiert.

Zusammenfassend kann bezüglich der KI-basierten Verfahren gesagt werden, dass Punktwolken sich besser zur Beurteilung von geometrischen Schäden wie Ausbrüchen, Abplatzungen und sonstigen geometrischen Fehlern eignen, während für alle anderen Schadenstypen in der Regel Bilder aussagekräftiger sind (Hake et al. 2020). Gerade durch die Kombination von Bild- und Scandaten ist vor allem über Wasser zukünftig noch eine signifikante Verbesserung der automatischen Schadenserkenkung und -klassifizierung zu erwarten, wobei hierfür vor allem die Bilddaten das größere Potenzial bieten. Die mittels der hier grob dargestellten Methoden gewonnenen Schäden oder Schadensverdachtsfälle können aufgrund der georeferenzierten Messdaten direkt im BIM-Schadensmodell verortet werden.

## 5 HydroMapper als Datenbasis für das Bauingenieurwesen

Durch die hochpräzisen 3D-Daten können den Betreibern, den Ingenieurbüros und den Bauunternehmen zukünftig qualifizierte und flächige Bestandsaufnahmen für die Bauwerksprüfungen, Planungen und Bauausführungen zur Verfügung gestellt werden (Abb. 10). Die Ergebnisse können dabei ortsunabhängig auf entsprechenden Mobilgeräten genutzt werden. Pilotprojekte zeigen, dass durch die Verbesserung der Datenbasis und des Informationsflusses der Beteiligten ein wesentlicher Aufwand bei den Ingenieurdienstleistungen, der Arbeitsvorbereitung und der Ausführung von Baumaßnahmen eingespart werden können.

Beispielhaft soll dies einmal anhand der Bauwerksprüfung einer Kaimauer geschildert werden: Während die Berufstauchergruppe (vier Personen einschließlich Schiff) 1,5 bis 2 Wochen für eine flächige Unterwasserprüfung je Kilometer benötigt, wird dieser Kilometer zukünftig mit dem HydroMapper innerhalb eines Tages vollflächig geo-

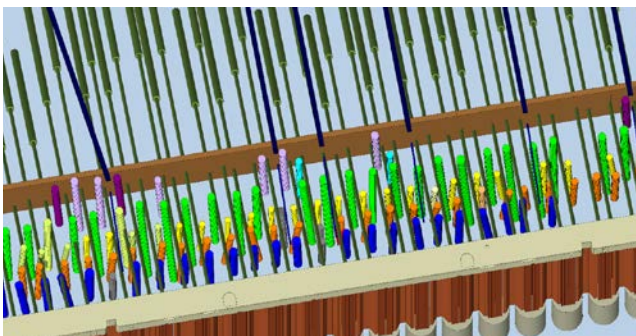


Abb. 10: BIM-Modell einer neuen Kaimauer in der Überlagerung mit Holzpfählen einer alten Schwergewichtsmauer

referenziert aufgenommen. Die Vermessungsdaten werden der Berufstauchergruppe zur Verfügung gestellt, um in den Schadensbereichen fokussiert Restwanddickenmessungen oder eine Schadensverifikation vorzunehmen.

Damit ergibt sich für die Hafengebtreiber ein doppelter Nutzen: Die Taucherkosten können in der Fläche bei georeferenzierter Qualität reduziert werden und der Taucher kann sich im Bereich der Schäden voll und ganz auf die Hotspots konzentrieren.

## 6 Mehrwert für Infrastrukturbetreiber

3D-Scandaten sind eine enorme Vereinfachung für den erfolgreichen Bau und Betrieb im Bestand. Der Mehrwert beschränkt sich dabei nicht nur auf die Nische »Bauwerksprüfung«, sondern auf die gesamte Kette an Leistungen rund um den Lebenszyklus von Verkehrswasserbauwerken. Insbesondere im Rahmen der Instandsetzung von Infrastrukturbauwerken treten immer wieder zeit- und kostenintensive Probleme mit dem Bauwerksbestand auf. Dieses Risiko kann mit einer vollständigen Bestandsaufnahme wesentlich reduziert werden, so dass künftig ein Vielfaches der Scanning-Kosten eingespart wird.

In der Praxis können dabei beispielsweise das Einbringen einer Spundwand in einer Holzpfahltrasse oder das aufwändige Durchbohren von Pfählen mit neuen Ankern verhindert werden.

Darüber hinaus hilft das Wissen über den Erhaltungszustand, Maßnahmen und Erfordernisse frühzeitig abzuschätzen und entsprechend zuverlässig durchzuführen. So können Ad-hoc-Maßnahmen und Betriebsunterbrechungen reduziert und die Zuverlässigkeit der Infrastrukturbauwerke nachhaltig verbessert werden.

## 7 Bereitstellung der Daten über Web-Services

Eine der zentralen Herausforderungen bei der Erfassung großer Datenmengen wie 3D-Punktwolken ist – nicht nur im Bauwesen – die spätere Nutzung durch Betreiber, Ingenieurbüros und sonstige Nachunternehmer. Diese Problematik ist vor allem im Hinblick auf große Infrastrukturbauwerke mit Längen von zum Teil mehreren Kilometern umso zentraler, da viele der potenziellen Nutzer keine Software zur Punktwolkenverarbeitung und Prozessierung besitzen.

Um diesen Umstand zu kompensieren, wurde für die Nutzung der HydroMapper- und VertiScan-Daten eine Cloud-Infrastruktur (HydroCloud) auf Basis verschiedener Frameworks entwickelt, die beliebigen Kunden einen einfachen Zugang mittels Web-Browser zu den hier erfassten Daten und Auswerteprodukten ermöglicht.

Innerhalb der HydroCloud werden zukünftig die durch das HydroMapper System sowie den VertiScan erfassten Daten vorprozessiert, mittels KI-Verfahren analysiert und ausgewertet sowie dem Nutzer über verschiedenste

Web-Dienste zur Verfügung gestellt. Im Fall von Digitalen Orthophotos (DOP) ist auch eine Anbindung an externe GIS-Systeme möglich.

Abb. 11 zeigt den Aufbau der HydroCloud-Lösung, die einer beliebigen Zahl von Nutzern verschiedene Produkte auf Basis der erfassten Daten zur Verfügung stellt. Hierzu gehören nicht nur Punktwolken, Bilder und erstellte Planunterlagen oder BIM-Modelle, sondern auch statische Auswertungen auf Basis von Expertenwissen, der erfassten 3D-Daten und anderer Quellen wie Restwanddickenmessungen.

Das aktuell realisierte Web-Frontend des HydroCloud-Portals ist in Abb. 12 zu sehen. Hier können alle für den jeweiligen Kunden erfassten Daten und Projekte schnell und einfach abgefragt und softwareunabhängig genutzt werden. Das dazugehörige Daten-Backend befindet sich aus Gründen des Datenschutzes auf einem eigenen Server mit Standort in Deutschland.

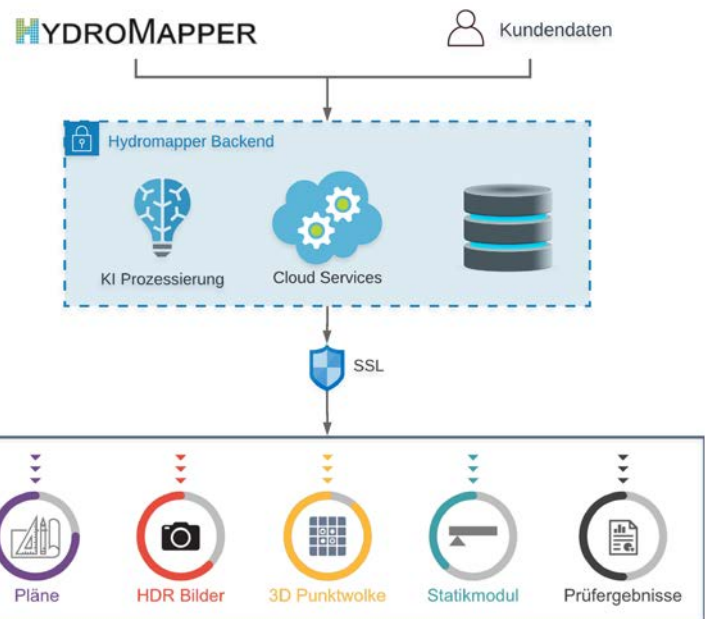


Abb. 11: HydroCloud mit KI-Implementierung, Daten-Backend und Web-Diensten

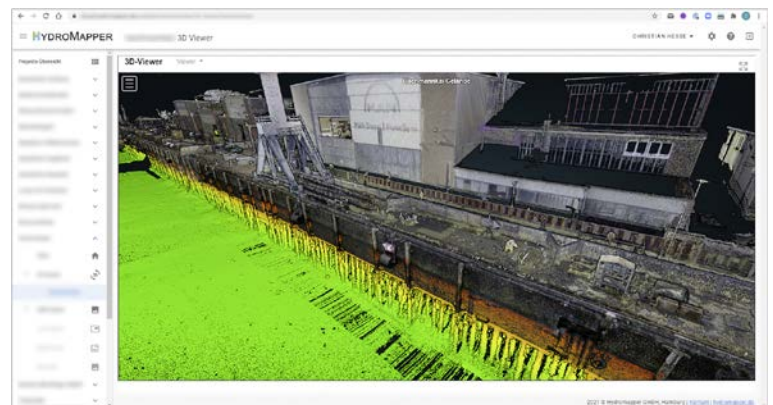


Abb. 12: HydroCloud-Datenportal

## Literatur

- Andrews, J., Tanay, T., Morton, E. J., Griffin, L. D. (2016): Transfer representation-learning for anomaly detection. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning. JMLR: New York, NY, USA.
- BAW (2018): Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Forschungsprogramm Verkehrswasserbau der Bundesanstalt für Wasserbau – Kompetenz für die Wasserstraßen, Heute und in Zukunft.
- Breunig, M. M., Kriegel, H. P., Ng, R. T., Sander, J. (2000): LOF: identifying density-based local outliers. In: Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 93–104.
- Hake, F., Herrmann, M., Alkhatib, H., Hesse, C., Holste, K., Umlauf, G., Kermarrec, G., Neumann, I. (2020): Damage Detection for Port Infrastructure by Means of Machine-Learning-Algorithms. In: FIG (Hrsg.): Proceedings of FIG Working Week 2020, Amsterdam, Netherlands, ISBN: 978-87-92853-93-6.
- Hesse, C., Holste, K., Neumann, I. (2019): 3D HydroMapper, ein innovatives Über- und Unterwasserscansystem zur Bauwerksinspektion. In: DVW e. V. (Hrsg.): Terrestrisches Laserscanning 2019 (TLS 2019). DVW-Schriftenreihe, Band 96, Wißner-Verlag, Augsburg.
- Hesse, C., Holste, K., Neumann, I., Hake, F., Alkhatib, H., Geist, M., Knaack, L., Scharf, C. (2019): 3D HydroMapper – Automatisierte 3D-Bauwerksaufnahme und Schadenserkenntnis unter Wasser für die Bauwerksinspektion und das Building Information Modelling. Hydrographische Nachrichten, HN113, 06/2019, Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V., Rostock. ISSN: 1866-9204.
- Holste, K., Hesse, C., Neumann, I., Bassen, S. (2019): 3D HydroMapper – digitale Inspektion von Bauwerken über und unter Wasser. In: Bautechnik 96 (2019), Heft 12.
- Simonyan, K., Zisserman, A. (2014): Very deep convolutional networks for largescale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaesie.info](http://www.geodaesie.info).

## Kontakt

Dr.-Ing. Christian Hesse  
Vermessungsbüro Dr. Hesse und Partner Ingenieure  
Veritaskai 6, 21079 Hamburg  
[ch@dhipi.com](mailto:ch@dhipi.com)

Dipl.-Ing. (FH) Karsten Holste  
WKC Hamburg GmbH, Veritaskai 8, 21079 Hamburg  
[karsten.holste@wk-consult.com](mailto:karsten.holste@wk-consult.com)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann  
Leibniz Universität Hannover, Geodätisches Institut  
Nienburger Straße 1, 30167 Hannover  
[neumann@gih.uni-hannover.de](mailto:neumann@gih.uni-hannover.de)

Dipl.-Ing. Ralf Esser  
Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Niederlassung Wilhelmshaven  
Pazifik 1, 26388 Wilhelmshaven  
[resser@nports.de](mailto:resser@nports.de)

Dr.-Ing. Michael Geist  
Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik  
IGP, Abteilung Produktionssysteme und Logistik  
Albert-Einstein-Straße 30, 18059 Rostock  
[michael.geist@igp.fraunhofer.de](mailto:michael.geist@igp.fraunhofer.de)