

Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

10/2026

HN 135

Hydrographie
im
Nahbereich



Hydrographische Vermessung zur Inspektion von Spundwänden

Ein Beitrag von BERIT JOST

Spundwände übernehmen in Häfen und an Wasserstraßen je nach Bauart tragende, sichernde und abdichtende Funktionen. Ein großer Teil der Konstruktion liegt dauerhaft unter Wasser und ist einer unmittelbaren Sichtprüfung nur eingeschränkt zugänglich. Hochauflösende hydrographische Nahbereichsvermessungen können diesen Bereich flächig und georeferenziert erfassen. Dieser Beitrag beschreibt einen Messansatz, mit dem Messdaten erzeugt werden, die für eine Spundwandinspektion genutzt werden können. Dabei ist es wichtig, im Vorhinein entwickelte Qualitätsparameter ausreichend zu berücksichtigen. Anwendungsbeispiele zeigen, wie dreidimensionale Punktwolken Verformungen, ausreichend große Oberflächenanomalien, Auskolkungen und Hindernisse sichtbar machen und Detailprüfungen vorbereiten. Zugleich werden die Grenzen des Verfahrens dargestellt. Insbesondere ersetzen akustische Oberflächenmessungen weder die Waddickenmessung noch den sicheren Nachweis feiner Risse oder verdeckter Schäden. Imaging-Sonar und Unterwasserphotogrammetrie ergänzen die geometrische Erfassung dort, wo eine höhere Detailauflösung oder eine bildhafte Dokumentation benötigt wird.

Bauwerksinspektion | Qualitätsparameter | Spundwand | Hafen | Genauigkeit
structural inspection | quality parameters | sheet pile wall | port | accuracy

Depending on their design, sheet pile walls perform load-bearing, securing and waterproofing functions in ports and along waterways. A large part of the structure lies permanently underwater and is only accessible to a limited extent for direct visual inspection. High-resolution close-range hydrographic surveys can capture this area comprehensively and in a georeferenced manner. This article describes a measurement approach that generates data suitable for sheet pile wall inspection. It is important to give sufficient consideration to quality parameters developed in advance. Case studies demonstrate how three-dimensional point clouds reveal deformations, sufficiently large surface anomalies, scouring and obstacles, and facilitate detailed inspections. At the same time, the limitations of the method are outlined. In particular, acoustic surface measurements do not replace wall thickness measurements or the reliable detection of fine cracks or concealed damage. Imaging sonar and underwater photogrammetry complement the geometric survey where higher detail resolution or visual documentation is required.

Autorin

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

berit.jost@hydromapper.de

1 Einleitung

Spundwandbauwerke sichern Geländesprünge, fassen Hafenbecken und Wasserstraßen ein und bilden häufig den wasserseitigen Abschluss von Verkehrs-, Lager- oder Betriebsflächen. Ihre Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit sind daher unmittelbar mit dem sicheren Betrieb der angrenzenden Infrastruktur verbunden. Schäden können sich schleichend durch Korrosion, Erosion oder wiederholte Beanspruchung entwickeln, aber auch plötzlich nach einer Anfahrung oder einer außergewöhnlichen Belastung auftreten. Da der überwiegende Teil der Konstruktion unter Wasser liegt, bleiben Veränderungen ohne eine geeignete Erfassung leicht unbemerkt.

Für Verkehrswasserbauwerke des Bundes beschreibt die VV-WSV 2101 die Bauwerksinspektion und fordert, den Zustand im Hinblick auf Tragfä-

higkeit und Gebrauchstauglichkeit zu beurteilen. Messergebnisse werden dabei Bestandteil der Bestandsunterlagen. Diese Verwaltungsvorschrift gilt nicht automatisch für jede kommunale oder private Hafenanlage, bietet aber einen fachlichen Bezugsrahmen für die systematische Dokumentation. Prüfmethode, Umfang und Intervall sind stets aus der Zuständigkeit, dem Regelwerk des Betreibers, dem Bauwerkszustand und dem Gefährdungspotenzial abzuleiten (BMDV 2022).

Eine hydrographische Aufnahme liefert geometrische und räumlich eindeutig zuordenbare Befunde, auf deren Grundlage Prüfingenieurinnen und Prüfingenieure Auffälligkeiten bewerten und weitere Untersuchungen veranlassen können. Ihr besonderer Wert liegt in der flächigen und georeferenzierten Erfassung des Unterwasserbereichs und in der Möglichkeit, spätere Messungen mit

einem dokumentierten Ausgangszustand zu vergleichen.

Der konkrete Anlass bestimmt die notwendige Detailtiefe der Messung. Eine Erstmessung soll einen verlässlichen Ausgangszustand abbilden. Wiederkehrende Aufnahmen richten sich stärker auf Veränderungen gegenüber diesem Bestand, während eine Messung nach Schiffsanfahrung, außergewöhnlichem Hochwasser oder auffälligen Setzungen kurzfristig einen begrenzten Bereich untersuchen kann. Vor einer Instandsetzung werden dagegen häufig Geometrien und Mengen benötigt, die über eine reine Schadenssuche hinausgehen. Es wäre daher fachlich nicht sinnvoll, ein Messprogramm für alle Anlässe zu verwenden. Die prüfende Stelle sowie das Vermessungsteam müssen vorab gemeinsam festlegen, welche Entscheidung die Daten ermöglichen sollen. Die relevanten Merkmale sind dabei abhängig von Bauart, statischem System, Material, Nutzung und örtlicher Exposition.

Um einen tieferen Einblick in die Inspektion von Spundwänden mittels hydrographischer Systeme zu gewinnen, gibt dieser Artikel einen Überblick über häufige Schadensfälle (Abschnitt 2), erläutert relevante Qualitätsparameter (Abschnitt 3), zeigt Beispiele von Bauwerksinspektionen (Abschnitt 4) und zeigt Potenziale und Limits von hydrographischer Vermessung im Kontext der Bauwerksinspektion auf (Abschnitt 5). Abschließend folgt ein Fazit und ein Ausblick auf ergänzende Messsensoren (Abschnitt 6).

2 Überblick über häufige Schadensfälle

Korrosion ist bei Stahlspundwänden ein zentraler Alterungsmechanismus. Sie kann flächig oder lokal als Mulden und Narben auftreten und führt zu einem Verlust der Restwanddicke. Die Intensität ist über die Bauwerkshöhe nicht zwingend gleichmäßig. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) unterscheidet je nach Gewässer und Modell unter anderem Spritzwasser, Wasserwechsel, Niedrigwasser und Unterwasserbereiche. Ein Fächerecholot erfasst die äußere Oberfläche des Bauwerks. Ausgeprägte Abrostungen, Rauigkeiten oder Durchrostungen können bei ausreichender Qualität in den Daten erkennbar sein. Die verbleibende Stahlstärke lässt sich daraus jedoch nicht bestimmen. Hierfür sind punktuelle, in der Regel ultraschallbasierte Wanddickenmessungen erforderlich. Nach der BAW-Empfehlung kann der Erhaltungszustand und eine Prognose der Restnutzungsdauer nur auf Grundlage solcher Wanddickenmessungen zuverlässig beurteilt werden (BAW 2017). Eine geometrische Analyse der Wand kann jedoch vorab die größten Biegemomente der Wand bestimmen und somit die Stellen spezifizieren, an denen eine Restwanddickenmessung besonders interessant ist (Holste et al. 2019).

Geometrische Verformungen umfassen lokale Beulen, Knicke, Verschiebungen oder eine Veränderung der Neigung einzelner Bohlen bzw. ganzer Wandabschnitte. Sie können aus unterschiedlichen Einwirkungen resultieren, die sich aus der Form alleine nicht beurteilen lassen. Eine dichte Punktwolke erlaubt jedoch, die Lage der Oberfläche gegenüber Referenzebenen, Bestandsplänen oder früheren Epochen zu vergleichen und Profile an frei wählbaren Stationen auszuwerten.

Risse, offene Schlösser und Schlosssprengungen sind für die Funktionsfähigkeit und gegebenenfalls für die Tragwirkung relevant. Feine lineare Schäden liegen häufig unterhalb der sicheren Detektionsgrenze einer flächigen Fächerecholotmessung. Größere Öffnungen können als Unterbrechung oder Kantensprung erscheinen, müssen aber durch eine gezielte Sicht-, Tast- oder Detailprüfung bestätigt werden. Entsprechendes gilt für Schäden an Schweißnähten, verdeckte Anker und Gurtungen oder den Zustand der landseitigen Konstruktion.

Zum Prüfbereich gehört außerdem die Gewässersohle unmittelbar vor dem Wandfuß: Dort können Auskolkungen, Erosionsrinnen, Sedimentumlagerungen und Gegenstände die Standsicherheit und den Betrieb beeinflussen. Diese sollten deshalb ebenfalls in den Messungen identifiziert und anschließend durch Fachkräfte bewertet werden.

Auch die zeitliche Entwicklung gehört zur Schadensbeschreibung. Eine einzelne Epoche zeigt die aktuelle Geometrie, belegt aber nicht, wann eine Verformung entstanden ist oder ob sie fortschreitet. Von daher ist es wichtig, möglichst viele historische Daten zu sammeln (z. B. Bestandspläne, frühere Messungen, bekannte Anfahrungen, Wanddickenreihen und Angaben zu Reparaturen) und diese zusammenzuführen, um eine ganzheitliche Aussage zum Zustand des Bauwerks treffen zu können.

3 Qualitätsparameter der Messung

Der IHO-Standard S-44 (IHO 2024) stellt für hydrographische Vermessungen das Prinzip der Gesamtunsicherheit, der nachzuweisenden Objektdetektion und der dokumentierten Abdeckung bereit, um die Qualität der Messungen zu sichern. Seine Vermessungsordnungen dienen der Sicherheit der Navigation und beziehen sich überwiegend auf Gewässersohlen. Sie bilden daher keine vollständige Spezifikation für eine vertikale, stark gegliederte Bauwerks Oberfläche. Für Spundwände müssen insbesondere die Auflösung normal zur Wand, die Vollständigkeit an Profilkanten und die Wiederholbarkeit im gemeinsamen räumlichen Bezug objektspezifisch ergänzt werden.

Um dementsprechend die vorab genannten Schäden überhaupt erkennen zu können, sind vorgelagerte Überlegungen über die Qualität der

Parameter	Bedeutung	Nachweis
Auflösungsvermögen	Kleinste Struktur, die sich vom Messrauschen und von benachbarten Details trennen lässt	Punktabstand und Größe des Schallspots; Überprüfung mit Testobjekten bekannter Größe
Genauigkeit	Richtigkeit und Rauschen der Messung	Rauschanalyse und Kontrolle an einer unabhängigen Referenz bzw. an Passpunkten
Vollständigkeit	Erfassung und Beurteilbarkeit aller für das Prüfziel relevanten Flächen	Abdeckungsplan, Überlappungen, Gegenfahrten und Kennzeichnung zusammenhängender Datenlücken
Wiederholbarkeit	Vergleichbarkeit mehrerer Epochen in einem stabilen räumlichen Bezug	Wiederholungsmessungen auf stabilen Bereichen und dokumentierte Aufnahmeparameter

Tabelle 1: Qualitätsparameter zur Qualitätssicherung der hydrographischen Vermessung

Messung essenziell. Die geforderte Datenqualität muss vor der Messung aus der Inspektionsaufgabe abgeleitet werden. Dazu lassen sich vier zentrale Fragen formulieren:

- Ist der gesuchte Schaden auflösbar?
- Lässt sich seine Geometrie zuverlässig messen?
- Wurden alle entscheidenden Flächen erfasst?
- Sind spätere Aufnahmen mit dem Ausgangszustand vergleichbar?

Zur Beantwortung dieser Fragen müssen die folgenden Qualitätsparameter betrachtet werden: Auflösungsvermögen, Genauigkeit, Vollständigkeit und Wiederholbarkeit. Dabei benötigt jeder Parameter ein prüfbares Kriterium, das auf Schadensart, Mindestgröße, Lage am Bauwerk und vorgesehenes Auswerteprodukt abgestimmt ist (Tabelle 1).

Das Auflösungsvermögen wird von dem Punktabstand und der Größe des Schallspots, welcher die Oberfläche trifft, bestimmt (Schmitz et al. 2020). Diese beiden Parameter sind wiederum abhängig von der Messdistanz, dem Öffnungswinkel der Einzelstrahlen und dem Einfallswinkel. Mit wachsender Entfernung vergrößert sich der Schallspot auf der Oberfläche. Fahrtgeschwindigkeit, Pingrate und Strahlzahl bestimmen den Punktabstand

in Fahrtrichtung. Eine hohe Punktzahl allein belegt dennoch keine Detektion. Die Zielstruktur muss sich in Größe und Form erkennbar vom Messrauschen, von Bewuchs und von benachbarten Profilkanten abheben. Der Nachweis sollte deshalb an einem bekannten Objekt oder einer Referenzfläche unter einer zum Projekt passenden Messgeometrie erfolgen.

Die Genauigkeit teilt sich auf in Richtigkeit und Präzision der Messung. Das Rauschen (Präzision) beschreibt die Streuung benachbarter Beobachtungen auf einer Fläche. Die Richtigkeit beschreibt zusätzlich, wie gut die gemessene Lage mit einer unabhängigen Referenz übereinstimmt. Ein dichter, optisch glatter Datensatz kann einen systematischen Versatz enthalten. Für die Beurteilung sind daher sowohl statistische Kennwerte als auch Kontrollmessungen an bekannten Flächen oder Zielmarken erforderlich.

Die Vollständigkeit beschreibt, ob die zu beurteilende Fläche ganzheitlich aufgenommen wurde. Spundwandprofile, Fender, Vorsprünge und Pfähle erzeugen akustische Schatten. Eine nominell dichte Punktwolke kann deshalb Lücken enthalten. Der Abdeckungsnachweis muss die tatsächlich untersuchte Oberfläche zeigen und nicht erfasste Bereiche kennzeichnen. Fahrten mit verändertem Abstand, entgegengesetzter Richtung oder anderer Sensorausrichtung können Schatten reduzieren. Physisch unzugängliche oder dauerhaft verdeckte Bereiche benötigen ein ergänzendes Verfahren.

Die Wiederholbarkeit setzt einen stabilen räumlichen Bezug und vergleichbare Aufnahmebedingungen voraus. Vor einem Epochenvergleich muss geprüft werden, welche Unterschiede bereits durch Registrierung, Sensorlage, Schallgeschwindigkeit, Wasserstand und Filterung entstehen können. Eine Veränderung ist aussagekräftig, wenn sie gegenüber der kombinierten Messunsicherheit beider Epochen signifikant ist und ein plausibles räumliches Muster bildet. Stabile Bauwerksbereiche oder unabhängige Kontrollflächen helfen, Versätze zwischen den Aufnahmen zu erkennen.

4 Spundwandinspektion mit hydrographischen Daten

Der folgende Abschnitt zeigt beispielhaft Daten zur Inspektion von maritimen Bauwerken. Dazu wird zunächst das Messsystem vorgestellt und anschließend wird der Einfluss verschiedener Qualitätsparameter aufgezeigt.

4.1 Aufbau des Messsystems

Abb. 1 zeigt das verwendete Messboot, welches mit einem Fächerecholot, einem Profillaserscanner und einem photogrammetrischen TriCam-System ausgestattet ist. Dieses erzeugt unter Wasser eine Punktwolke. Über Wasser erzeugt



Abb. 1: Messboot mit Laserscanner, photogrammetrischem System und Fächerecholot

das System eine weitere Punktwolke sowie eine photogrammetrisch erstellte Vermaschung, welche Schäden sehr detailliert darstellen kann. Der Schallfächer ist gezielt auf die vertikale Spundwand ausgerichtet und in der Höhe verstellbar, da anders als bei einer klassischen Tiefenvermessung nicht die Sohle, sondern die vertikalen Bauteile im Mittelpunkt stehen. Es werden die Bauwerksoberfläche vom Wandfuß bis möglichst nahe an die Wasserlinie sowie der unmittelbar angrenzende Gewässergrund erfasst. Abhängig von der Geometrie und dem Prüfziel können mehrere Sensorstellungen oder mehrere Fahrten notwendig sein, um Profile, Anbauteile und verdeckte Bereiche aus unterschiedlichen Blickrichtungen aufzunehmen.

Zum Gesamtsystem gehören neben dem akustischen Sensor eine präzise Zeitbasis, eine inertielle Messeinheit sowie eine genaue Positionsbestimmung mit GNSS (Global Navigation Satellite System). Außerdem ist die Bestimmung der Einbauwinkel und Hebelarme sowie Messungen der Schallgeschwindigkeit notwendig, um genaue Messergebnisse zu erhalten.

Vor Beginn der Aufnahme werden Prüfziel, kleinste relevante Struktur, erforderliche Abdeckung, Koordinaten und Höhenbezug sowie das gewünschte Ergebnisformat festgelegt. Darauf folgen Systemkalibrierung, Kontrolle der Sensorversätze und eine auf die Wandgeometrie abgestimmte Linienplanung. Während der Fahrt sind Abstand und Ausrichtung zur Wand, Geschwindigkeit, Schallfächeröffnung, Frequenz, Pingrate und Datenüberlappung so zu wählen, dass die geforderte Qualität im gesamten Abschnitt erreichbar bleibt. Wiederholte oder gegenläufige Passagen schaffen Redundanz und helfen, systematische Abweichungen oder Abschattungen zu erkennen.

4.2 Einfluss verschiedener Parameter auf die Qualität der Messung

Die Punktdichte beschreibt, wie eng die Messpunkte auf der untersuchten Oberfläche angeordnet sind. Abb. 2 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Punktabstände auf den erkennbaren Detailgrad. Bei einer groben Abtastung wird zunächst nur die allgemeine Ausdehnung der Wand wiedergegeben. Die einzelnen Spundwandprofile und kleinere Oberflächenstrukturen sind nur eingeschränkt erkennbar. Mit zunehmender Punktdichte werden die Profilgeometrie, Kanten und lokale Auffälligkeiten deutlicher abgebildet. Bei einem durchschnittlichen Punktabstand von 1 cm entsteht eine nahezu geschlossene Darstellung der Oberfläche, aus der auch kleinere geometrische Strukturen abgeleitet werden können.

Von der Punktdichte ist die Präzision der Messung zu unterscheiden. Sie beschreibt die Streuung wiederholter Beobachtungen unter festgelegten Bedingungen und kann beispielsweise durch eine Standardabweichung angegeben werden. Abb. 3 veranschaulicht diesen Einfluss anhand von Punktwolken eines Spundwandprofils. Bei einer Standardabweichung von 1 cm bildet die gelbe Punktwolke das Profil als vergleichsweise schmales Band ab. Die Profilform und ihre Übergänge bleiben deutlich erkennbar. Bei Standardabweichungen von 5 cm bzw. 10 cm verbreitert sich dieses Band zunehmend. Die grundsätzliche Profilform ist weiterhin sichtbar, ihre genaue Lage und kleinere geometrische Abweichungen lassen sich jedoch immer weniger sicher bestimmen. Strukturen, deren Ausdehnung in der Größenordnung der Messstreuung liegt, können nur eingeschränkt vom Messrauschen unterschieden werden.

Für den Vergleich verschiedener Messepochen kommt die Wiederholbarkeit als weiterer Qualitätsparameter hinzu. Abb. 4 zeigt einen Cloud-to-

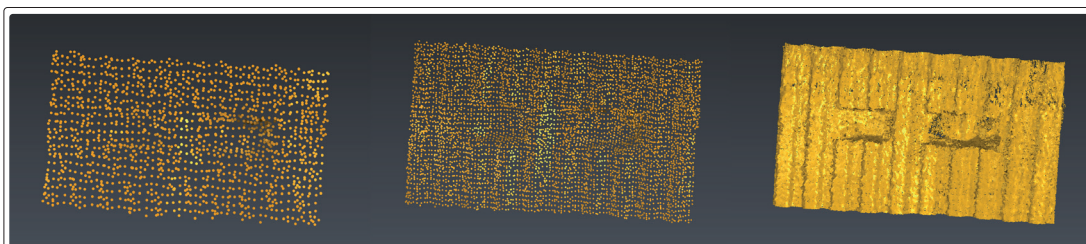


Abb. 2: Einfluss verschiedener Punktdichten auf den Detailgrad der Punktwolke (links: 20 cm, Mitte: 10 cm, rechts: 1 cm durchschnittlicher Punktabstand)

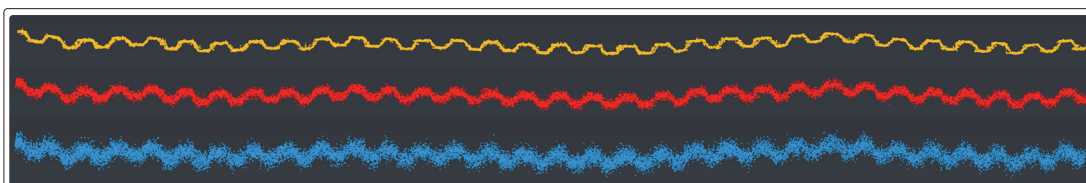


Abb. 3: Punktwolken von Spundwandprofilen mit unterschiedlicher Präzision: gelb: 1 cm; rot: 5 cm; blau: 10 cm Standardabweichung

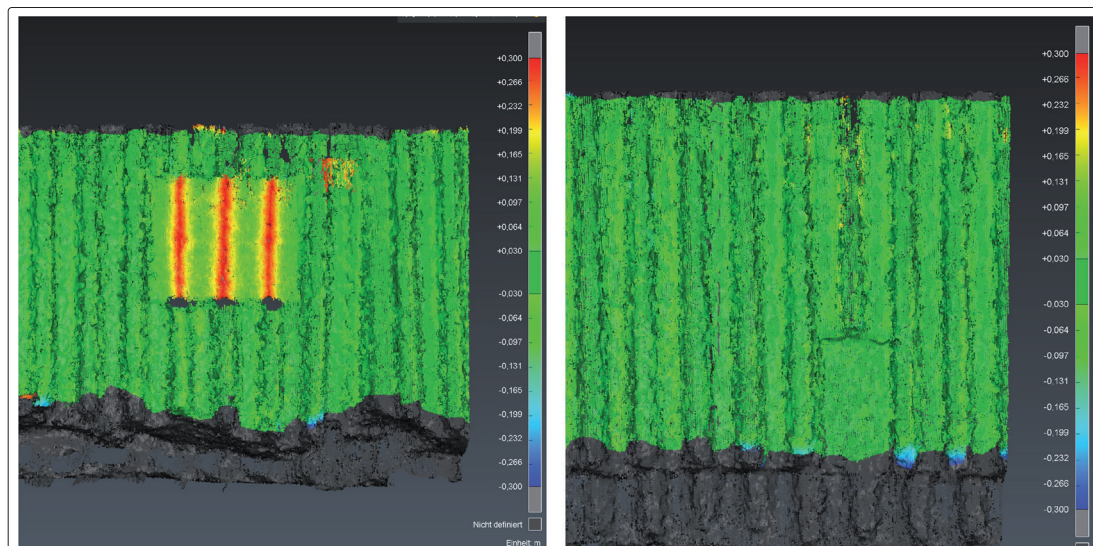


Abb. 4: Cloud-to-Mesh-Vergleich von zwei Messepochen aus den Jahren 2022 und 2026

Mesh-Vergleich (Lague et al. 2013) der Aufnahmen aus den Jahren 2022 und 2026. Hierbei werden die räumlichen Abstände zwischen einer Punktwolke und einem aus der Vergleichsepoche abgeleiteten Oberflächennetz farbcodiert dargestellt. Bereiche nahe dem gewählten Nullwert weisen geringe Abstände zur Referenz auf; warme und kalte Farben kennzeichnen je nach Vorzeichenkonvention Abweichungen in entgegengesetzten Richtungen. Die Farbskala beschreibt damit zunächst ausschließlich geometrische Differenzen und keine Schadensschwere. Die grünen Bereiche liegen innerhalb eines Bereiches von ± 3 cm. Da die Präzision der Messung im Jahr 2022 noch bei 4 cm und die der Messung aus dem Jahr 2026 bei 1 cm lag, liegen diese Abweichungen also innerhalb des Messrauschens. Auffällig ist jedoch der mittlere Bereich in der linken Abbildung. Dort werden die Abweichungen deutlich größer. Dies liegt an

einer Vorplattung, die zwischen den Epochen angebracht wurde. In der rechten Abbildung ist bei genauem Hinsehen im unteren Bereich ebenfalls eine Vorplattung sichtbar. Da diese aber schon vor der ersten Epoche existierte, ist sie im Vergleich nicht auffällig.

4.3 Beispielhafte Inspektionserkenntnisse

Die nachfolgenden Beispiele veranschaulichen, welche geometrischen Auffälligkeiten sich in hydrographischen Punktwolken erkennen und räumlich dokumentieren lassen. Im Mittelpunkt steht zunächst die neutrale Beschreibung des sichtbaren Befundes. Aus der Geometrie allein werden keine Aussagen zur Schadensursache, zum Entstehungszeitpunkt oder zur statischen Relevanz abgeleitet. Eine solche Bewertung erfordert zusätzliche Informationen oder eine gezielte Sichtprüfung bzw. Fachpersonal.

Abb. 5 zeigt die Punktwolke eines Betonpfeilers mit einer lokal zurückliegenden Oberfläche. Die Farbgebung basiert auf dem radialen Abstand der Messpunkte zu einem festgelegten Mittelpunkt bzw. zu einer daraus abgeleiteten Referenzgeometrie des Pfeilers. Bereiche mit vergleichbarem Abstand werden in ähnlichen Farben dargestellt. Der blau gekennzeichnete Bereich weist einen geringeren Abstand zum Mittelpunkt auf und liegt damit gegenüber der umgebenden Pfeileroberfläche zurück. Auf diese Weise werden Lage, räumliche Ausdehnung und Form des Materialausbruchs in der Punktwolke erkennbar.

Abb. 6 zeigt einen längeren Bauwerksabschnitt, in dem mehrere unterschiedliche Geometrien gemeinsam erfasst wurden. Im Verlauf der Wand ist zunächst ein deutlicher Bauformwechsel sichtbar. Die Profilierung, Lage und Ausrichtung der Spundwand ändern sich an dieser Stelle. Ein solcher Übergang ist nicht zwangsläufig als Schaden zu bewer-

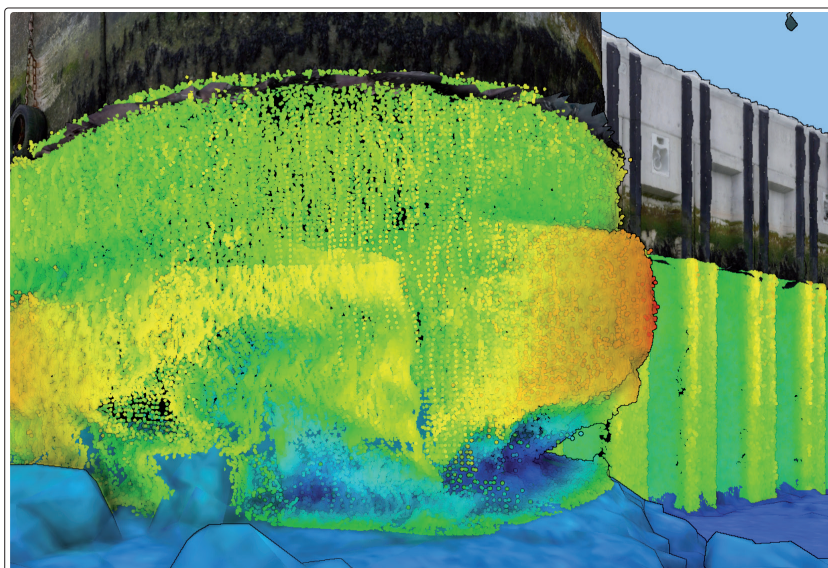


Abb. 5: Beispiel für eine Materialablösung

ten, sondern kann Bestandteil der vorhandenen Bauwerkskonstruktion sein. Ohne Bestandspläne könnte die abrupte Änderung jedoch irrtümlich als Verformung oder Versatz eingeordnet werden. Das Beispiel verdeutlicht daher die Bedeutung der gemeinsamen Betrachtung von Punktwolke und vorhandenen Bauwerksinformationen.

Darüber hinaus ist eine der eigentlichen Spundwand vorgelagerte Vorspundwand erkennbar. Die räumliche Darstellung macht sowohl deren Lage als auch den Abstand zur dahinterliegenden Wand nachvollziehbar. Auch die angrenzende Gewässer-
sohle ist in der Punktwolke enthalten. Sie weist lokale Höhenunterschiede und mulden- bzw. rinnenförmige Vertiefungen auf. Diese Bereiche können geometrisch als Sohldepressionen beschrieben, räumlich abgegrenzt und hinsichtlich ihrer Tiefe gegenüber der benachbarten Sohle ausgewertet werden. Die Bezeichnung als Kolkbildung setzt darüber hinaus eine fachliche Einordnung oder einen Vergleich mit einem früheren bzw. konstruktiv vorgegebenen Zustand voraus. Eine einzelne Messepoche dokumentiert zunächst lediglich die zum Aufnahmezeitpunkt vorhandene Sohlengeometrie. Erst ein belastbarer Epochenvergleich kann zeigen, ob Material abgetragen oder umgelagert wurde.

Abb. 7 zeigt eine farbcodierte Abweichungsdarstellung einer Spundwand gegenüber einer festgelegten Referenzebene. Die Farben repräsentieren die Abstände der Messpunkte senkrecht zu dieser Ebene. In der gewählten Darstellung kennzeichnen zunehmend orangefarbene Bereiche eine größere positive Abweichung. Über mehrere Spundwandprofile hinweg bildet sich ein zusammenhängender, bogenförmiger Verlauf. Unter Berücksichtigung der gewählten Bezugsrichtung wird dadurch eine zur Wasserseite gerichtete Ausbiegung der Wand sichtbar.

Die Aussagekraft der Darstellung hängt wesentlich von der Definition der Referenzebene ab. Eine aus der vorhandenen Punktwolke angepasste Ebene beschreibt den mittleren Zustand des untersuchten Wandabschnitts, stellt jedoch nicht automatisch die ursprüngliche oder planmäßige Lage der Wand dar. Aus der bogenförmigen

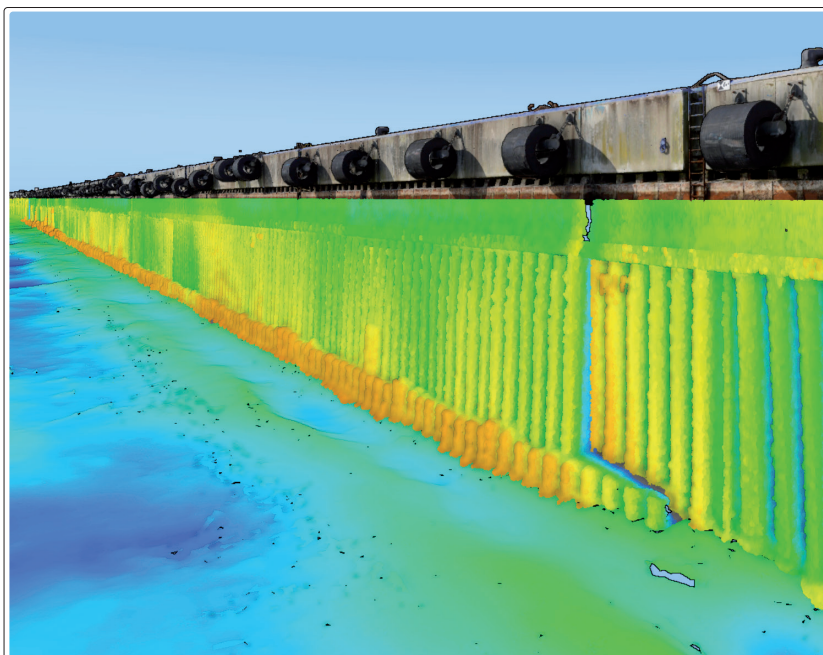


Abb. 6: Beispiel für einen Bauformwechsel sowie verschiedene Geometrieanomalien und Kolkbildung

Geometrie allein lässt sich nicht ableiten, wodurch die Verformung entstanden ist oder ob sie weiter fortschreitet. Hierfür wäre eine fachliche Einschätzung durch geschultes Personal bzw. zusätzliche Angaben zur Konstruktion, zu früheren Messungen und zu möglichen Einwirkungen erforderlich. Die Punktwolke liefert jedoch einen eindeutig lokalisierbaren und messbaren Befund, auf dessen Grundlage weiterführende Prüfungen geplant werden können.

5 Chancen und Limitationen bei der Nutzung hydrographischer Daten zur Bauwerksinspektion

Der größte Vorteil der hydrographischen Aufnahme mittels Fächerecholot liegt in der zusammenhängenden räumlichen Erfassung. Dadurch entsteht ein georeferenziertes Abbild der zugänglichen Unterwasseroberfläche. Damit lassen sich Befunde eindeutig stationieren, Abmessungen im Modell prüfen und Detailuntersuchungen auf konkrete Bereiche begrenzen. Akustische Verfahren

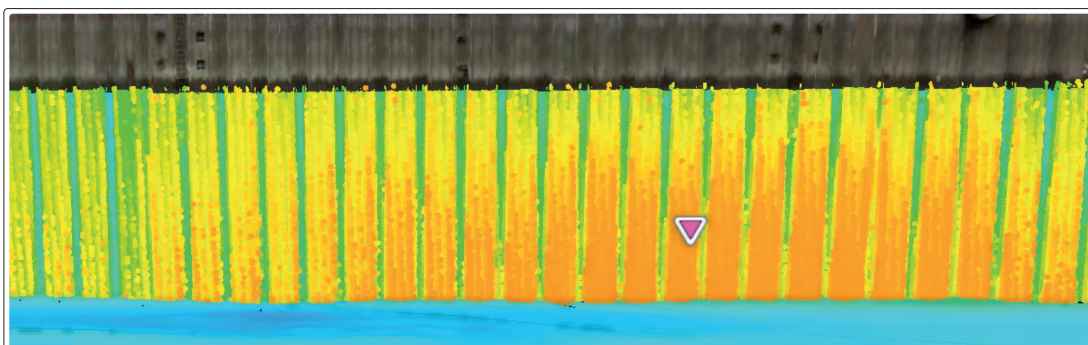


Abb. 7: Beispiel für die Verformung einer Spundwand

bleiben auch bei starker Trübung und fehlendem Licht einsetzbar, sofern die Schallausbreitung nicht durch ungünstige Umgebungsbedingungen beeinträchtigt wird.

Die gemeinsame Aufnahme von Wand und Sohle verbindet Bauwerks- und Gewässerinformationen. Auskolkungen, Ablagerungen, Hindernisse und die Lage des Wandfußes können im selben räumlichen Zusammenhang betrachtet werden. Werden Oberwasserdaten ergänzt, entsteht eine durchgängige Grundlage für Bestandspläne, Prüfberichte und statische Fragestellungen. Der Nutzen steigt, wenn die Daten nicht nur als Einzeldatei abgelegt, sondern mit Schäden, Fotos, Schnitten und Berichten verknüpft werden.

Durch Wiederholungsmessungen können Veränderungen flächenhaft untersucht werden. Die Voraussetzungen dafür sind ein stabiler Bezug, vergleichbare Aufnahmebedingungen und eine Unsicherheit, die deutlich kleiner als die zu bewertende Veränderung ist. Unter diesen Bedingungen kann die Messung Prioritäten für Wartung, Wanddickenmessung, Taucheinsatz oder ROV-Untersuchung sachlich unterstützen. Sie reduziert den Suchaufwand, ersetzt aber nicht die fachliche Entscheidung über Ursache, Relevanz und Maßnahme.

Ein Fächerecholot misst die Lage einer akustisch reflektierenden Oberfläche. Es misst weder die Restwanddicke noch Materialfestigkeit, Schweißnahtqualität, Ankerkraft oder den Zustand verdeckter Bauteile. Korrosionsprodukte und Bewuchs können die Stahloberfläche überdecken. Kleine Löcher, feine Risse oder offene Schlösser können unterhalb der Detektionsgrenze liegen oder im Schatten eines Profils verschwinden. Aus dem Fehlen einer sichtbaren Auffälligkeit darf deshalb nicht auf Schadensfreiheit geschlossen werden.

Die erreichbare Qualität ist örtlich variabel. Die Nähe zur Wand verbessert zwar den Strahlabdruck, erhöht aber Anforderungen an Navigation und sichere Fahrzeugführung. Abschattung und Mehrwegeausbreitung treten gerade in strukturierten Hafenanlagen auf. GNSS-Signale können durch hohe Kaimauern, Krane, Brücken oder Schiffe abgeschattet und reflektiert werden. Wellen, Strömung und Luftblasen beeinflussen Plattformbewegung und Schallmessung. Auch die Wasserlinie bleibt bei einem untergetauchten Sensor häufig als schmaler Übergangsbereich schwierig; unterschiedliche Wasserstände oder eine ergänzende Oberwasseraufnahme können diese Lücke verringern.

Schließlich erfordert die Interpretation Erfahrung in Hydrographie und Bauwerksprüfung. Eine Farbdarstellung kann Messrauschen optisch verstärken oder eine frei gewählte Referenzebene als vermeintlichen Sollzustand erscheinen lassen. Filterung kann Ausreißer entfernen, aber auch reale

dünne Strukturen unterdrücken. Deshalb müssen Rohdaten erhalten, Bearbeitungsschritte dokumentiert und zweifelhafte Befunde durch unabhängige Verfahren kontrolliert werden.

6 Fazit und Ausblick

Hydrographische Nahbereichsvermessung macht den zugänglichen Unterwasserbereich von Spundwänden flächig, messbar und dauerhaft dokumentierbar. Ihr fachlicher Wert hängt weniger von einer maximalen nominellen Punktzahl als von einer auf die Prüfaufgabe abgestimmten Messgeometrie und einem transparenten Qualitätsnachweis ab. Richtig eingesetzt liefert das Fächerecholot eine belastbare geometrische Grundlage für Befundkartierung, Verformungsanalyse, Wiederholungsmessung und die Planung ergänzender Prüfungen. Eine vollständige Zustandsbewertung entsteht erst durch die Verbindung dieser Daten mit weiteren Bauwerksdaten.

Die Fächerecholotmessung kann durch weitere Sensorik unterstützt werden. Imaging-Sonare erzeugen aus der Stärke und Laufzeit akustischer Rückstreuung eine bildhafte Darstellung. Sie können ausgewählte Bereiche bei geringer optischer Sicht detailreicher abbilden als eine flächige Übersichtsmessung. Besonders geeignet sind sie zur Orientierung, zur Kontrolle von Kanten, Öffnungen und Anbauteilen sowie zur Vorbereitung eines gezielten Eingriffs. Die Ergebnisse hängen jedoch stark von Entfernung, Einfallswinkel, Stabilität des Sensorkopfes und der Interpretation akustischer Schatten ab. Ein zweidimensionales Sonarbild ist zudem keine unmittelbar maßstäbliche fotografische Ansicht. Schrägentfernung und Projektionsgeometrie müssen bei Messungen berücksichtigt werden.

Unterwasserphotogrammetrie ergänzt die Akustik um Textur und Farbe. Aus überlappenden Bildern lassen sich bei geeigneter Aufnahmegeometrie dichte, texturierte 3D-Modelle erzeugen. Damit können Oberflächenmerkmale visuell nachvollziehbar dokumentiert und bei ausreichendem Maßstab vermessen werden. Die Methode setzt jedoch genügend Sichtweite, kontrollierte Beleuchtung, scharfe Bilder, hohe Überdeckung und eine belastbare Skalierung bzw. Georeferenzierung voraus. Das Kameragehäuse und der Übergang zwischen Glas und Wasser verändern die Strahlengeometrie. Untersuchungen zur Unterwasserphotogrammetrie zeigen, dass eine ungeeignete Kalibrierung oder ein vereinfachtes Brechungsmodell systematische Fehler verursachen kann. Homogene, bewachsene oder stark verschmutzte Flächen erschweren zusätzlich die Bildzuordnung. Ein ROV kann die Kamera nahe an die Wand führen und die Aufnahmetrajektorie kontrollieren, löst diese optischen und geometrischen Anforderungen aber nicht automatisch.

Für die Praxis bietet sich ein gestuftes Konzept an. Zunächst erfasst das Fächerecholot die zugängliche Wand und den Wandfuß flächig. Die Auswertung kennzeichnet Auffälligkeiten, Unsicherheiten und Datenlücken. Imaging-Sonar oder Unterwasserphotogrammetrie liefern anschließend an ausgewählten Stellen eine dichtere akustische bzw. bildhafte Dokumentation. Wand-

dickenmessungen, Tastprüfungen oder weitere zerstörungsfreie Prüfverfahren beantworten materialbezogene Fragen. Alle Befunde werden im selben Bauwerksbezug zusammengeführt und durch qualifiziertes Prüfpersonal bewertet. Automatisierte Vergleichs- und Erkennungsverfahren können künftig die Sichtung großer Datenmengen unterstützen. //

Literatur

BAW (2017): Empfehlungen für Spundwanddickenmessungen in Häfen und an Wasserstraßen: Grundlagen, Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation (ESM). BAW-Empfehlung, Ausgabe 2017, Karlsruhe

BMDV (2022): Bauwerksinspektion. Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes VV-WSV 2101, Ausgabe 2022, Berlin

Holste, Karsten; Christian Hesse; Ingo Neumann; Sebastian Bassen (2019): 3D HydroMapper – digitale Inspektion von Bauwerken über und unter Wasser. Bautechnik, DOI: 10.1002/bate.201900097

IHO (2024): S-44 Edition 6.2.0 – Standards for Hydrographic Surveys. International Hydrographic Organization, Monaco

Lague, Dimitri; Nicolas Brodu; Jérôme Leroux (2013): Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.009

Schmitz, Berit; Heiner Kuhlmann; Christoph Holst (2020): Investigating the resolution capability of terrestrial laser scanners and its impact on the effective number of measurements. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.002

Hydrographie, die mehr sieht.

Satelliten-Vermessung • Kontinuierliches Monitoring • Digitale Zwillinge

EOMAP
a Fugro company



Use Cases entdecken
eomap.com/use-cases