

# Multibeam-Vermessung von Spundwänden

## Möglichkeiten und Grenzen anhand von Untersuchungen in Bremerhaven

Ein Beitrag von THORSTEN DÖSCHER

Die traditionelle Regelaufgabe der Hafengesellschaft bremenports GmbH & Co. KG in der Hydrographie ist die Bestimmung der Wassertiefe, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs im Hafen zu gewährleisten. Während für das Hafenamts, die Lotsen und die Baggerei die minimalen Wassertiefen relevant sind, ist für die Unterhaltung der Kaje die maximale Wassertiefe interessant, um lokale Kolke zu identifizieren und die Stabilität der Kaje zu prüfen. Ausgerüstet mit dem Multibeam R2Sonic 2024, können mit dem neuen Vermessungsschiff *Seedler* neben den Wassertiefen auch die Kajenbauwerke unter Wasser vermessen werden.

### Autor

Dipl.-Ing. Thorsten Döscher leitet das Team »Peilerei und Vermessung« bei der bremenports GmbH & Co. KG. in Bremerhaven.

thorsten.doescher@bremenports.de

Hafen | Bauwerksüberwachung | Multibeam | Punktwolke | Visualisierung

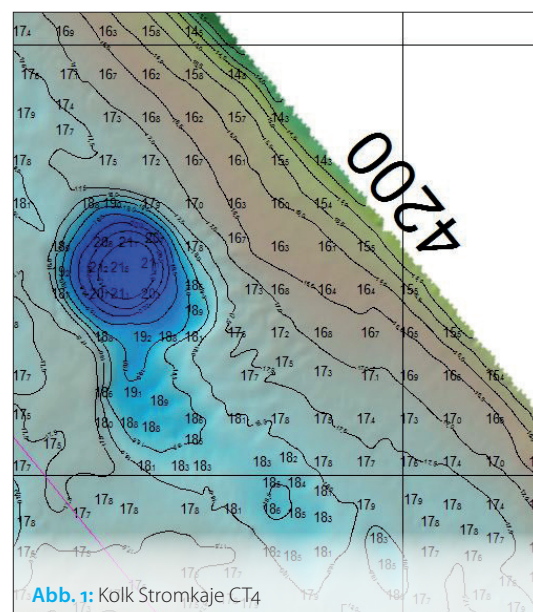
### 1 Einleitung

Eine Spundwand – oder allgemein eine Kajenwand (das Wort »Kaje« ist in der Region Bremen, Bremerhaven und Wilhelmshaven gebräuchlich, während in anderen Hafenstädten von »Kai« gesprochen wird) – bildet die Grenze zwischen Wasser und Land. Damit das Be- und Entladen eines Schiffes unbedenklich erfolgen kann, muss die Standsicherheit der Kaje gewährleistet sein. Verschiedene Gründe können eine Untersuchung der Standsicherheit notwendig machen. Die Solltiefe vor einer Kaje bestimmt die maximalen Schiffstiefgänge, demgegenüber definiert die Bemessungsgrenze die maximal statisch erlaubte Wassertiefe. Lokale Kolke, verursacht durch natürliche Strömungen oder durch Schraubenwasser, können eine statische Überprüfung notwendig machen und gegebenenfalls eine Kolkverfüllung erfordern. Die Abb. 1 weist auf einen Kolkbereich vor dem

Container Terminal in Bremerhaven hin, welcher verfüllt werden musste.

Die Abb. 2 zeigt den großen Schaden einer Kaje nach einer Schiffskollision. Die Gewässersohle vor der Schadensstelle musste auf Mindertiefen durch Sandaustritt und auf abgebrochene Teile der Kaje am Grund untersucht werden. Diese Beispiele zeigen klassische Einsätze hydrographischer Vermessung der Wassertiefen zur indirekten Überprüfung einer Kaje. Die direkte Vermessung einer Kajenwand dagegen soll das Bauwerk auf Deformationen überprüfen. Dies erfolgt einerseits an Land mit klassischen geodätischen Methoden der Bauwerksüberwachung, andererseits unter Wasser durch Taucher, die die Kajenwand auf Schäden untersuchen. Dabei muss der Taucher den Zustand der Kajenwand im trüben Hafenwasser mehr ertasten als sehen.

Dieser Beitrag zeigt drei aktuelle Untersuchun-



gen zur Bauwerksüberwachung unter Wasser durch Multibeam-Vermessung (Kapitel 3). Im Gegensatz zur Messung der Wassertiefe ist dabei der Blick nicht nur nach unten zum Grund gerichtet, sondern direkt auf das Bauwerk, das heißt vom Kajenfußpunkt vertikal nach oben bis nahezu zur Wasseroberfläche. Im zweiten Kapitel wird die technische Ausrüstung zur Kajenvermessung unter Wasser beschrieben. Abschließend wird in Kapitel 4 eine Zusammenfassung und ein Ausblick zu den derzeitigen Möglichkeiten und Grenzen der Vermessung einer Spundwand gegeben.

## 2 Vermessungsschiff *Seeadler*

Das bremenports-eigene Vermessungsschiff *Seeadler* (Abb. 3) wurde 2016 in Betrieb genommen. Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des Multibeams war eine gute Auflösung verbunden mit einer hohen Anzahl von Messwerten. Diese Anforderung ist im Hafen besonders wertvoll, um Hindernisse am Hafengrund orten und identifizieren zu können. Die Möglichkeit, das Multibeam auch für die Vermessung der Hafengebäude einzusetzen, wurde ebenfalls berücksichtigt, wenngleich zu der Zeit nur sehr spärliche Erfahrungen mit Bauwerksaufnahmen vorlagen.

Die Auswahl fiel auf das Multibeam R2Sonic 2024 mit dem optionalen 700-kHz-Modus UHR (Ultra High Resolution) und der TruePix-Backscatter-Funktion. Seit ca. einem Jahr kann durch ein Software-Update auch ein UHD-Modus (Ultra High Density) im Frequenzbereich von 170 bis 450 kHz genutzt werden. Der UHD-Modus generiert aus jedem der 256 Beams vier unabhängige Messwerte und erhöht somit die Punktdichte auf 1024 Messwerte pro Ping (R2Sonic 2017). Diese Neuerung hat die Ergebnisse der detaillierten Vermessung von Hindernissen am Hafengrund und der Vermessung von Bauwerken bedeutend verbessert. Die 700-kHz-Funktion mit einer Fokussierung der Beams auf  $0,3^\circ \times 0,6^\circ$  kann nicht im UHD-Modus genutzt werden und eignet sich nur für den Na-



Abb. 3: Vermessungsschiff *Seeadler*

dirbereich, da das Multibeam fest im Schiffsrumpf installiert und der Öffnungswinkel des Fächers auf maximal  $70^\circ$  begrenzt ist.

Für die Positionierung der Messwerte des Multibeams ist die *Seeadler* mit dem GNSS-Empfänger Trimble SPS 855 und dem Inertial Navigationssystem IxBlue Hydrins ausgerüstet.

## 3 Multibeam-Ergebnisse von Spundwänden

### Stromkaje am Container Terminal

Die Stromkaje mit einer Gesamtlänge von 4930 m und einem Umschlag von 5,5 Millionen TEU (bremenports 2018) ist in Bremerhaven von besonderer Bedeutung. Entsprechend häufig werden die Wassertiefen hier monatlich überprüft. Eine Vermessung der Spundwand muss jedoch gesondert von der Regelpeilung erfolgen, da hier andere Einstellungen am Sonar nötig sind als bei der Aufgabe einer Verkehrssicherungspeilung.

Zum Zwecke der Inspektion einer Spundwand gilt es, die bestmögliche Auflösung und Punktdichte zu erzielen. Ein Ausschnitt einer ersten Untersuchung im Übergang der Kajenabschnitte CT2 zu CT3 bei Station 1600 ist in Abb. 4 zu sehen. Hier wurde eine Punktdichte an der Spundwand von ca. 100 bis 120 Punkten auf einem Quadratmeter Kaje erreicht. Bei einer Vermessung des Gewässerbodens werden die

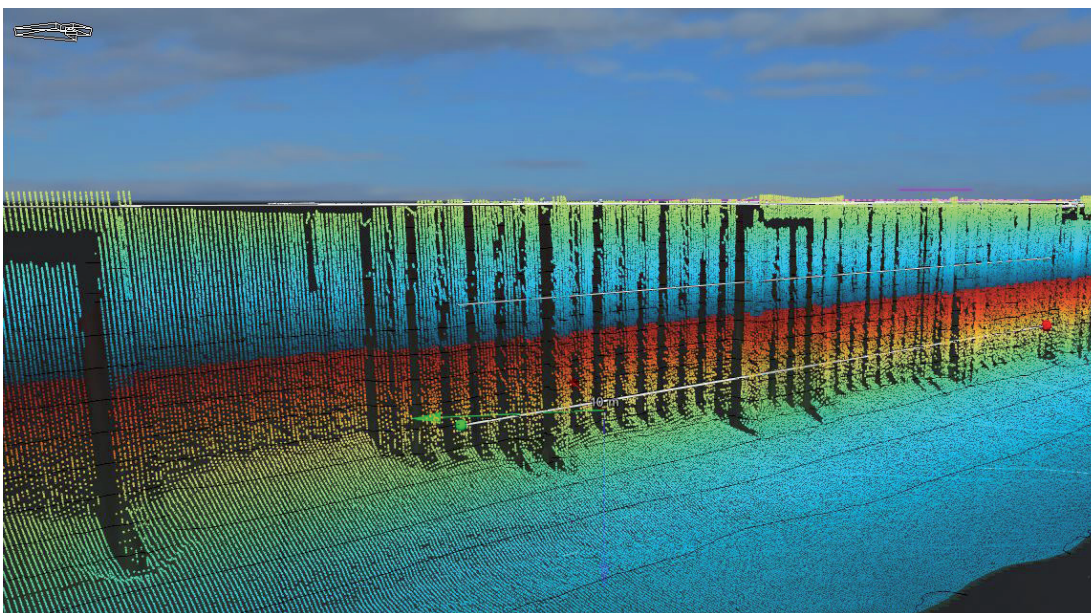


Abb. 4: Bereich der Stromkaje CT3/CT2 bei Kajenstation 1600

**Literatur**

R2Sonic (2017): Operation Manual V6.3; Austin, Texas, USA, 247 S.  
 bremenports (2018): Bremische Häfen in Zahlen – Statistiken; <https://bremenports.de/statistiken/>; zuletzt geprüft am 16.05.2019

Messpunkte in der horizontalen Ebene bereits während der Vermessung von der hydrographischen Software am Bildschirm angezeigt, um definierte Qualitätsstandards einzuhalten. Die Punktdichte in der vertikalen Ebene zu ermitteln, war dagegen nur durch grobes Auszählen möglich. Der Ausschnitt zeigt die Spundwand über ca. 80 m Länge über eine Tiefe von ca. 0 bis 10 m unter SKN. Durch den Kajenoberbau und die Fender liegen die Containerschiffe mit ihrer Außenwand ca. 6 m von der Spundwand entfernt; ab dort wird eine Solltiefe von 14,60 m unter SKN unterhalten.

Für die Bereinigung, Modellierung und Auswertung der Daten verwendet bremenports den EIVA NaviModel Producer. Der Screenshot aus dem NaviModel-Projekt kann nur einen Gesamteindruck von der erreichten Auflösung wiedergeben. Für die Analyse und Visualisierung der Daten kann das Projekt besser über den frei verfügbaren NaviModel Viewer den Kollegen, die für die Kajenunterhaltung und Kajeninspektion verantwortlich sind, zur Verfügung gestellt werden. Erste gemeinsame Analysen dieser Spundwandvermessung zeigen, dass man die allgemeine Kajenstruktur sehr gut erkennen kann. Die Auflösung reicht jedoch nicht aus für die Erfassung von sogenannten Schlosssprengungen (Öffnung der Kajenwand durch Deformation der Trag- und Füllbohle). Vielmehr kann der Betrachter die Struktur auf Unregelmäßigkeiten untersuchen. Dabei können z. B. auch die in Abb. 4 erkennbaren horizontalen Hilfslinien die Untersuchung der Kajenwand auf Deformation

unterstützen. Des Weiteren können Unregelmäßigkeiten in der Böschung vor der Kaje indirekt auf Schadstellen der Kajenwand hinweisen.

**Columbuskaje**

Das zweite Beispiel zeigt einen Ausschnitt der Columbuskaje, dem Kreuzfahrtterminal von Bremerhaven. Hier wurde getestet, Daten vom Multibeam mit Bilddaten einer Kopterbefliegung zu kombinieren. Aus den Bilddaten wurde über Passpunkte durch die Software Agisoft Photoscan eine georeferenzierte 3D-Punktwolke generiert, welche mit den Multibeam-Daten mit NaviModel zu einer gemeinsamen Punktwolke zusammengefügt, bearbeitet und visualisiert wurde (Abb. 5).

Hier wurden höhere Punktdichten erreicht, aus zwei Multibeam-Fahrtprofilen bei geringerer Wassertiefe gegenüber der Vermessung der Stromkaje wurden 400 bis 500 Messwerte pro Quadratmeter erzielt; die Befliegungsdaten liefern sogar eine 10-fach höhere Auflösung von ca. 5000 Messwerten pro Quadratmeter. Entsprechend lassen sich hier auch mehr Details insbesondere im betonierten Kajen-Oberbau erkennen. Trotz der hohen Auflösung können die Bilddaten eine visuelle Inspektion des betonierten Bauwerks im sogenannten Mannkorb nicht ersetzen, sondern nur ergänzen, da selbst die aus den Bilddaten generierten Orthofotos keine eindeutige Erkennung von Haarrissen im Beton ermöglichen. Die Bilddaten können aber für das Ausmessen der identifizierten Schadstellen hilfreich sein. Zudem bilden sie eine gute grafische Grundlage für die Dokumentation der Bauwerksinspektion. Analog zur Stromkaje bietet die Aufnahme der Spundwand unter Wasser mit dem Multibeam dagegen wertvolle Information. Hier wurde die Spundwand nicht senkrecht gerammt, sondern mit einer definierten Neigung, welche durch vertikale Hilfslinien überprüft werden kann. Ebenso lassen sich horizontale Deformationen im Unterwasserbereich analysieren und bemessen.

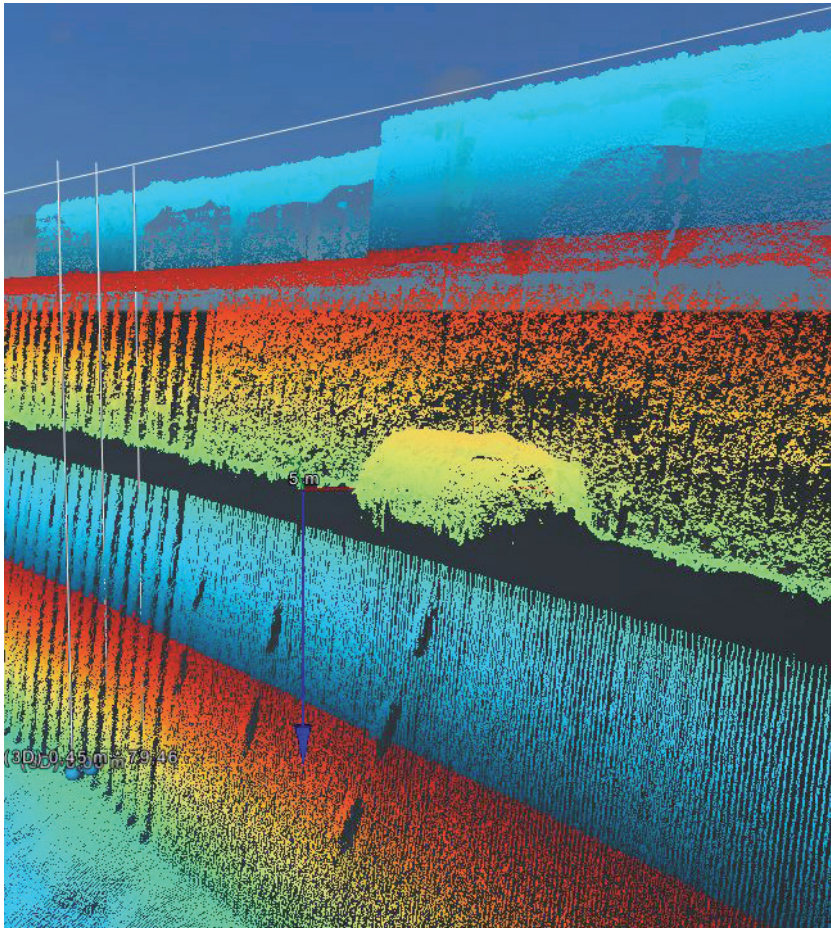
**Fischereihafen**

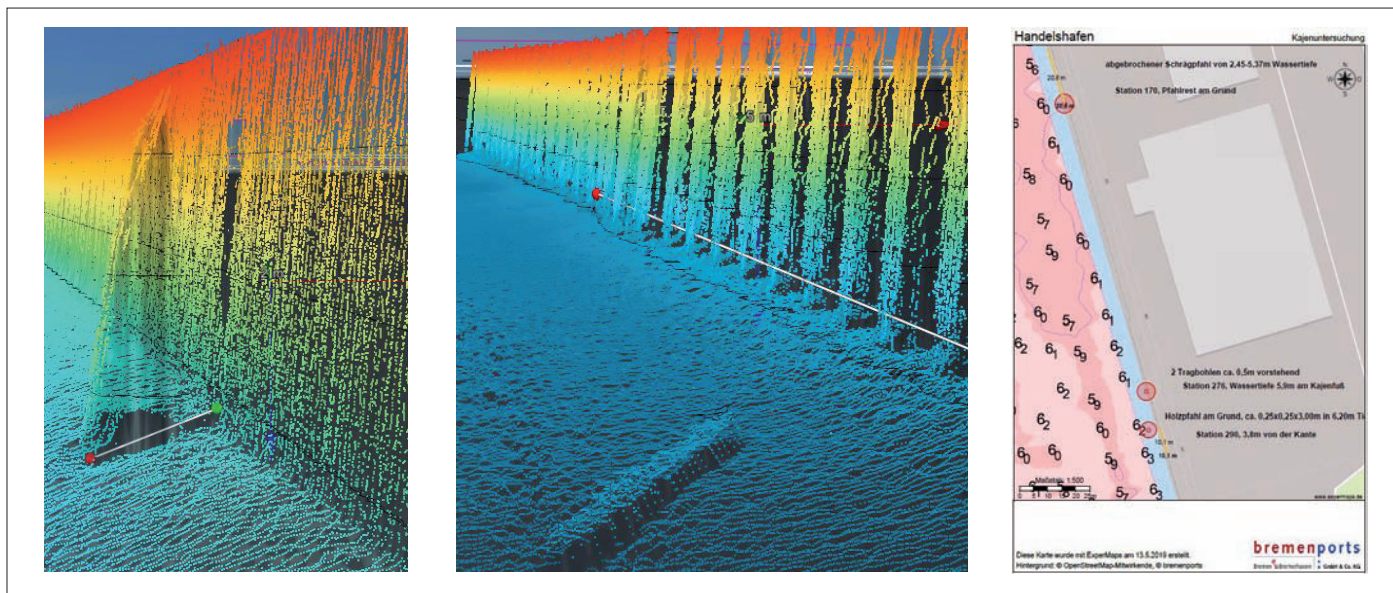
Das dritte Beispiel zeigt eine Aufnahme der Spundwand mit dem Multibeam im Fischereihafen in nur 6 m Tiefe. Hier konnte aufgrund der geringeren Wassertiefe und somit kleinerem Scanbereich eine Punktdichte von 500 bis 600 Punkten pro Quadratmeter erzielt werden. Die gemeinsame Analyse mit den Ingenieuren aus der Hafenunderhaltung konnte zudem nicht bekannte Problembereiche aufzeigen, welche durch die bremenports-Taucher demnächst näher untersucht werden sollen.

Es wurden ein abgebrochener Schrägpfahl ohne Funktion entdeckt (Abb. 6, links, S. 33), ein weiterer Pfahl am Hafengrund und eine größere Deformation der Spundwand. Dort stehen zwei Tragbohlen am Kajenfuß 0,5 bis 0,6 m aus der Spundwandachse hervor (Abb. 6, Mitte).

Die Positionen der Objekte können aus dem NaviModel Viewer entnommen und in das Hafen-GIS übertragen werden, um die zu untersuchen-

**Abb. 5:** Bereich der Columbuskaje bei Kajenstation 600





den Stellen so für die Taucher zu dokumentieren (Abb. 6, rechts).

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

bremenports steht gerade erst am Anfang der Nutzung von Multibeam-Daten zur Untersuchung von Spundwänden. Die ersten Untersuchungen zeigen aber bereits, dass die vermessungstechnische Ausstattung der *Seeadler* dazu beitragen kann, den Zustand der Kajen in Bremerhaven zu analysieren und zu bewerten. Der UHD-Modus von R2Sonic hat die Ergebnisse der Kajenvermessung mit dem Sonar bedeutend verbessert. Entscheidend für die Qualität der Kajenaufnahme ist die Auflösung und Punktdichte der Multibeam-Vermessung. Es bedarf hierzu noch weiterer Untersuchungen und Erfahrungen in der optimalen Einstellung des Sonars wie auch in der Anordnung der hydrographischen Vermessung. NaviModel bietet gute Möglichkeiten zur Visualisierung und Analyse der Daten. Der NaviModel Viewer ermöglicht es, die Information allen beteiligten Kollegen einer Bauwerksinspektion zur Verfügung zu stellen. Damit haben Hydrographen, Vermessungsingenieure, Bauingenieure und Taucher eine gute Basis, ihre Kenntnisse über das Bauwerk auszutauschen und zu vertiefen,

um schließlich den Zustand des Bauwerks besser beurteilen zu können. bremenports möchte diese neuen Möglichkeiten in seine Arbeitsprozesse übernehmen und dadurch einen Mehrwert in der Bauwerksinspektion erzielen.

Die Visualisierung erfolgt derzeit ausschließlich über Punktwolken. Die Analyse der Daten erfordert vom Nutzer, sich die Punktwolke aus verschiedenen Perspektiven in unterschiedlichen Zoomstufen anzusehen, um so Details vom Bauwerk besser zu erkennen und zu interpretieren. Für die Erfassung von Deformationen sind gezeichnete Ebenen und Geraden hilfreich. Wünschenswert wäre eine 3D-CAD-Zeichnung nach Fertigstellung und Einmessung eines Neubaus, welche man dann später zu jedem Zeitpunkt mit einer aktuell aufgenommenen Punktwolke vergleichen kann. Es gibt aber auch aktuelle Entwicklungen von EIVA a/s, aus den Punktwolken mit NaviModel Producer 3D-Modelle (mesh) zu generieren. Ein erster Test erfolgte aus der hochauflösenden Punktwolke, generiert aus der Kopterbefliegung (Abb. 7). Dieser erste Versuch zeigt den Trend von der 2D-Karte oder -Zeichnung zur dreidimensional visualisierten Welt, welche noch viele spannende Perspektiven für die Zukunft der Bauwerksüberwachung verspricht. //

Abb. 6: Handelshafen im Fischereihafen

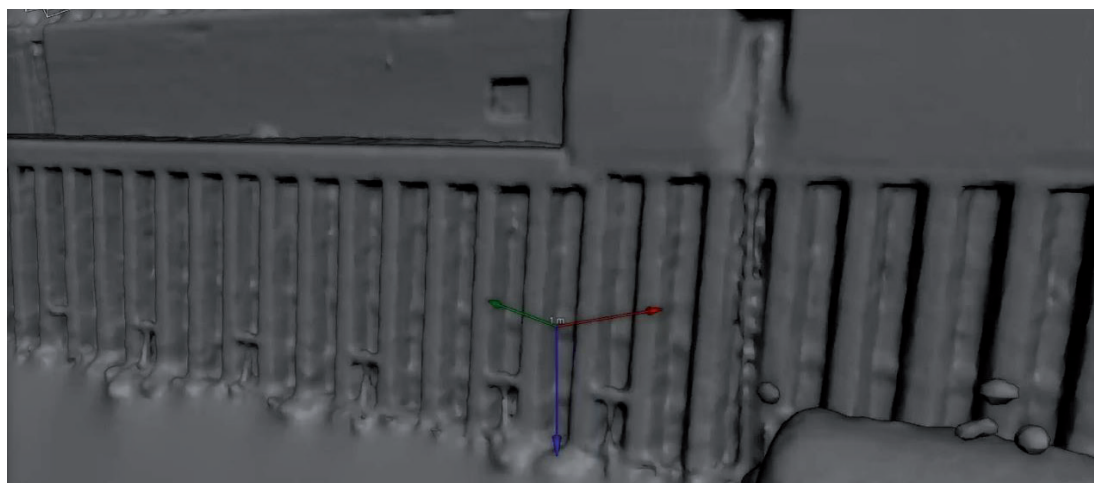


Abb. 7: Teil der Columbuskaje als 3D-Modell