

TAGUNGSBAND

TEIL A



Maritim Hotel Düsseldorf
31. Mai. bis 2. Juni 2022

Telefon: 040 42847-2178

E-Mail: service@htg-online.de

Internet: www.htg-online.de

Vorsitzender: Reinhard Kligen

Stellvertretender Vorsitzender: Dipl.-Ing. Karlheinz Pröpping

Geschäftsführer: Michael Ströh

Registergericht: Amtsgericht Hamburg

Vereinsregister Nr. VR 1112

Ust-IdNr.: DE253776206

Inhaltsverzeichnis der Langfassungen zu den Vorträgen

Hinweis: Die Titel der Langfassungen im Inhaltsverzeichnis entsprechen den Vortragstiteln

- 4 **Vorwort**
Reinhard Klingen, Vorsitzender der HTG
- 5 **Potentiale der Binnenhäfen in NRW**
Eckel, J.-S., RheinCargo GmbH & Co.KG, Neuss
- 6 **Ersatzneubau des Brückenzugs Oberbürgermeister Karl Lehr – Zugang zum Duisburger Hafen**
Dr.-Ing. Ebers-Ernst, J, grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, Hannover
- 7 **Entwicklung einer Versuchsinfrastruktur zur Deckung der Forschungsbedarfe rund um Automatisierung und Digitalisierung im Hafen**
M.Sc. Alias, C., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg; Budde, T., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg; Dr.-Ing. Kracht, F.E., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg; M.Sc. Nieradzik, M., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg; Prof. Dr.-Ing. El Moctar, B.O., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg; Prof. Dr.-Ing. Schramm, D., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg; zum Felde, J., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg)
- 9 **Neubau von fünf Schleusen am Dortmund-Ems-Kanal – Geotechnische und geohydraulische Aspekte**
Dipl.-Ing. C. Altenhöfer, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe; Dipl.-Ing. B. Maßmann, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln
- 19 **Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe im Hamburger Hafen – Teilprojekt Baggern und Verbringen – Ein Baustellenbericht zu der Frage: „Kann nach 17 Jahren Planung noch was schiefgehen?“**
Sebastian Sandt, Ramboll GmbH, Hamburg; Karsten Peters, Ramboll GmbH, Hamburg; Birte Gutbrod, Hamburg Port Authority AöR; Ulrich Schmekel, Hamburg Port Authority AöR; Wolfgang Bode, Hamburg Port Authority AöR; Christian Jonas, Hamburg Port Authority AöR; Kobbe Peirs, Jan De Nul, Hofstade; Servaas Waelkens, Jan De Nul, Hofstade

Inhaltsverzeichnis

- 30 **Aktuelle Erkenntnisse aus der Nachrechnung bestehender Kaimauern im Hamburger Hafen**
Dipl.-Ing. Frank Feindt; Dr.-Ing. Bozhana Kocak; Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
- 37 **Planung und Visualisierung der Erhöhung des innerstädtischen Cranzer und Neuenfelder Hauptdeiches**
Pia Pinkenburg, M.Sc.; Friederike Wulff, M.Sc., WKC Hamburg GmbH, Hamburg
- 46 **Der Ölhavarie-Vorsorgezustand an der deutschen Ostseeküste ist besorgniserregend**
Swantje Steffen, B. Sc., Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät Rostock, Geotechnik und Küstenwasserbau, Rostock
- 57 **Seeschleuse Papenburg – Neubau Außenhaupt Schleusenbau bei laufendem Betrieb**
Dipl.-Ing. H. Janssen, Depenbrock Ingenieurwasserbau GmbH & Co. KG, Hamburg
- 66 **Der Bau des Außenhauptes der 5. Schleusenkammer Brunsbüttel**
C. Fabricius, M.Sc., Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Hamburg
- 77 **Richtfeuerlinie Blankenese – Deutschlands vierthöchster Leuchtturm**
Dr.-Ing. Raabe, E.; Dipl.-Ing. Gutbrod, B., Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
- 78 **Ein Krangigant im Seehafen Rostock**
Dipl.-Ing. T. Retzlaff, INROS LACKNER SE, Rostock
- 84 **Anpassung des Systems Schiff/Wasserstraße an den Klimawandel**
Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann, Dr.-Ing. Sven Wurms, Fabian Beimowski, M. Sc., Hauke Stachel, M. Eng., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- 92 **Anpassung von See- und Binnenhäfen an den Klimawandel – PIANC EnviCom Arbeitsgruppe 178 und HTG Arbeitsgruppe KlimaHafen**
Prof. Dr.-Ing. B. Koppe, Hochschule Wismar; Dipl.-Ing. L. Lankenau, bremenports GmbH & Co. KG, Bremerhaven
- 100 **CO2-Bilanz von verschiedenen Kaimauerkonstruktionen**
M.Sc. K. Hendler, Boley Geotechnik GmbH, München; Prof. Dr. P. Bourne-Webb, Instituto Superior Técnico, Lissabon; Prof. Dr. M. Pinheiro, Instituto Superior Técnico, Lissabon;; Dr. Karsten Galipp, Inros Lackner SE, Bremen; Dr. Klaus Richter, Inros Lackner SE, Bremen

- 112 **Preisträgerin HTG Förderpreis – Masterarbeiten**
Salt water intrusion in the Weser estuary Hydro-numerical modeling to hindcast the development from 1960 until to-day
Pia Kolb, M.Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg
- 113 **Herausforderung BIM im Wasser- und Verkehrswasserbau Entwicklung und Einführung von BIM mit dem Ziel, die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten zu optimieren und Kapazitäten zu bündeln**
Dipl.-Ing. M. Küßner, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Hannover; Dipl.-Ing. M. Wählen, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Bundesfachabteilung Wasserbau, Berlin; Dr.-Ing. U. Jäppelt, Verband Beratener Ingenieure / WTM Engineers GmbH, Hamburg; Dr.-Ing. J. Ebers-Ernst, Verband Beratener Ingenieure, grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, Hannover
- 124 **SmartKai: Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrastuktur**
Hilko Wiards, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg; Jan Mentjes, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg; Arnold Akkermann, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg; Dr. Matthäus Wuczkowski, Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Oldenburg; Dr. Sebastian Feuerstack, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg; Prof. Dr. Axel Hahn, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg
- 133 **BIM2Twin – Ein Einblick in das Projekt der neuen Köhlbrandquerung**
Momme Petersen M.Sc., Dipl. Ing. (FH) Christian Kielhorn, Daniel Dombeck, Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
- 144 **Planung der Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim – Anwendung der BIM-Methode**
Dr.-Ing. Steffen Kinzler, M.Sc., Jakob Herbst; Dipl.-Ing. Norbert Carstensen, Dr.-Ing. Ulrich Jäppelt, WTM Engineers GmbH, Hamburg
- 154 **Nachhaltigkeit im Kontext der Jungen HTG**
Junge HTG

Sehr geehrte Kongressteilnehmerinnen und Kongressteilnehmer,
liebe Mitglieder,

die Landeshauptstadt Düsseldorf ist ein bedeutendes Industrie- und Handelszentrum mit Sitz zahlreicher Wirtschaftsverbände. Ihre Lage am Rhein macht die Stadt zu einem wichtigen Verkehrsknotenpunkt. Düsseldorf ist Messestadt und gilt mit der bekannten Königsallee als elegante Einkaufsstadt. Über den Rhein, der wichtigsten Schifffahrtsverbindung Europas, ist der Düsseldorfer Hafen direkt an die ZARA-Häfen (Zeebrügge, Amsterdam, Rotterdam und Antwerpen) angebunden. Nach der Fusion der Neusser und Düsseldorfer Häfen zur NDH im Jahr 2003 und der Kooperation mit der Häfen und Güterverkehr Köln AG (HGK) entwickelt sich der zweitgrößte deutsche Binnenhafenbetrieb kontinuierlich.

Den HTG Kongress als ein Forum zu verstehen, in welchem die Fachwelt sich auch in der persönlichen Diskussion aktuellen Fragestellungen widmet, ist seit jeher ein Anliegen der HTG. Das vielfältige Vortragsprogramm wurde wieder im Rahmen eines Paper-Selection-Verfahrens ausgewählt und verspricht eine interessante Mischung aus Informationen und Diskussionen. An dieser Stelle sei dem Paper-Selection-Committee unter der Leitung von Herrn Prof. Saathoff, herzlich für das Engagement gedankt.

Zudem bietet das Begleitprogramm mit der Fachausstellung, dem Begrüßungsabend und dem Kongressabend ausreichend Gelegenheit, den fachlichen Austausch zu vertiefen. Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, wir freuen uns auch in diesem Jahr wieder auf zahlreiche Besucher, interessante Vorträge, angeregte Diskussionen und einen erfolgreichen Kongress.



Hamburg, im Mai 2022

A handwritten signature in blue ink that reads "Reinhard Klinge". The signature is written in a cursive, flowing style.

Ministerialdirektor Reinhard Klinge
Vorsitzender der HTG

Potentiale der Binnenhäfen in NRW

Eckel, J.-S., RheinCargo GmbH & Co.KG, Neuss, Deutschland

Kurze Darstellung der in der Arge Häfen NRW organisierten Häfen

Trimodalität der Häfen (Schiff, Bahn und LKW)

Zukünftige Potentiale

Projekt IHATEC Häfen NRW 4.0

Projekt SPaCiH



Ersatzneubau des Brückenzugs Oberbürgermeister Karl Lehr – Zugang zum Duisburger Hafen

Dr.-Ing. Ebers-Ernst, J, grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, Hannover, Deutschland

Der Oberbürgermeister-Lehr-Brückenzug in Duisburg verbindet die Duisburger Stadtteile Ruhrort und Kaßlerfeld. Die Aufrechterhaltung des Verkehrs auf dem Brückenzug sowie dem Hafenskanal hat oberste Priorität, um die Andienung des Duisburger Hafens jederzeit zu gewährleisten.

Als eine der vier Ruhrquerungen in Duisburg besitzt der Brückenzug eine außergewöhnliche Bedeutung für den innerstädtischen Individual- und öffentlichen Personennahverkehr. Darüber hinaus verbindet er das Hafengebiet mit der BAB A40 und weiteren überregionalen Verkehrswegen. Die vorhandenen Bestandsbauwerke haben inzwischen das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht. Lastbeschränkungen und Sperrung von Fahrspuren machen zeitnah einen Ersatzneubau für die Hauptzufahrt zum Duisburger Hafen erforderlich.

Während die Brücke über den Vinckekanal bereits ersetzt wurde, erfolgt derzeit der Neubau der Brücken über den Hafenskanal sowie die Ruhr. In einer vorgezogenen Baumaßnahme wird ein Leitungsdücker unter dem Hafenskanal errichtet, um vorab den gesamten Leitungsbestand zu verlegen. Mit dem Neubau in Seitenlage und dem anschließenden Querverschub aus der Behelfsumfahrung in die Bestandsachse können sämtliche Verkehre während der Bauzeit aufrechterhalten werden. Die Inselanlage der Baustelle sowie die Aufrechterhaltung des Verkehrs auf dem Brückenzug und den Wasserstraßen Ruhr und Hafenskanal zur Andienung des Duisburger Hafens stellen eine enorme Herausforderung für die Baustellenandienung und die gesamte Logistik dar. Transporte können nur über die Wasserstraßen und den ohnehin schon hochbelasteten OB-Lehr Brückenzug erfolgen. Die Lage des Baufeldes und der Vormontagefläche im Hochwassereinfluss von Rhein und Ruhr sowie eine hohe Kampfmittelbelastung des Baufeldes stellen weitere Herausforderungen für den Bauablauf dar.

Der Beitrag behandelt aus Sicht der Planenden eine hoch komplexe Baumaßnahme im Umfeld des Duisburger Hafens mit einer Vielzahl von Zwangspunkten und sehr ambitioniertem Zeitplan.

Entwicklung einer Versuchsinfrastruktur zur Deckung der Forschungsbedarfe rund um Automatisierung und Digitalisierung im Hafen

M.Sc. Alias, C., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg

Budde, T., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg

Dr.-Ing. Kracht, F.E., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg

M.Sc. Nieradzik, M., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg

Prof. Dr.-Ing. El Moctar, B.O., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und

Transportsysteme e.V., Duisburg

Prof. Dr.-Ing. Schramm, D., Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, Duisburg

zum Felde, J., Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V., Duisburg

Technologische Megatrends wie Automatisierung und Digitalisierung kennzeichnen den derzeitigen Wandel in der Logistik, nicht zuletzt in der Hafenlogistik. Um neue Technologien im Hafenumfeld einsetzen zu können, sind klassische Entwicklungsstränge zu durchlaufen. Um Neuentwicklungen über Jahre bis zur Marktreife vorantreiben zu können, sind Forschungspartner mit großer Ausdauer und ausreichendem Kapital oder Konsortien mit gewerblichen Projektpartnern, die ihre eigenen Ressourcen dafür bereitstellen, vonnöten. Ersteres liegt nur selten vor, während Letzteres angesichts des Zielkonflikts zwischen gewerblichen Aktivitäten und der Forschung häufig nur schwer zu realisieren ist.

Eine dedizierte Versuchsinfrastruktur für die Automatisierung und Digitalisierung der Hafenlogistik erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll, um die vielfältigen Forschungspotenziale heben zu können. Die Versuchsinfrastruktur verfügt idealerweise über eine Versuchsanordnung für die Entwicklung und Erprobung von Hardwareinnovationen sowie über ein Experimentierumfeld für Softwareneuheiten. Eine solche Versuchsinfrastruktur befindet sich derzeit am Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme (DST) in Duisburg im Aufbau. Das Versuchszentrum für innovative Hafen- und Umschlagtechnologien, kurz Hafenforschungslabor oder HaFoLa, genannt, umfasst eine Versuchshalle für die Automatisierung von Umschlaggeräten sowie ein Living Lab „Digital Port“. Der Beitrag skizziert die zukünftigen Forschungsbedarfe in den Bereichen Automatisierung und Digitalisierung im Hafenumfeld und stellt die Eignung der neu zu schaffenden Versuchsinfrastruktur für diese Entwicklungsaufgaben heraus.

Für die genannten Forschungsbereiche ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten für das neu geschaffene Versuchszentrum. Durch die Versuchsinfrastruktur lassen sich technische Neuentwicklungen bis zum Technologiereifegrad TRL 4 und damit zu einem technisch funktionierenden Demonstrator im Laborumfeld erreichen.

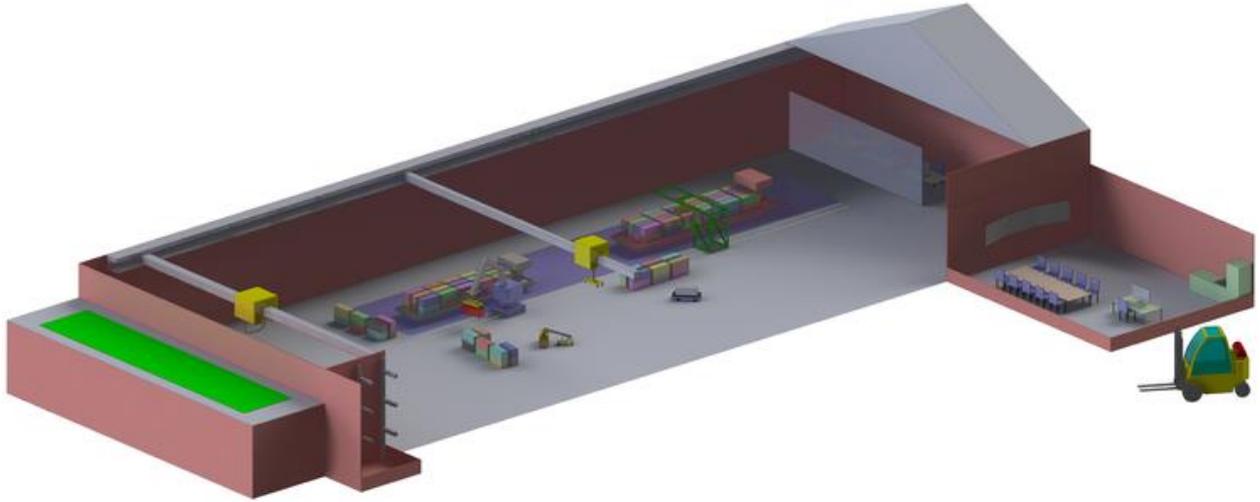


Abb. Hafenforschungslabor

Neubau von fünf Schleusen am Dortmund-Ems-Kanal – Geotechnische und geohydraulische Aspekte

Dipl.-Ing. C. Altenhöfer, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Dipl.-Ing. B. Maßmann, Wasserstraßen-Neubauamt Datteln

Fünf Schleusen an der sogenannten Schleusentreppe Rheine, darunter zwei in Nordrhein-Westfalen, werden im Rahmen des Projektes „Neue Schleusen DEK-Nord“ durch einen Neubau ersetzt. Das Projekt „Neue Schleusen DEK-Nord“ ist ein wesentlicher Baustein in dem Vorhaben, die Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals (DEK) von Bergeshövede bis Papenburg den Anforderungen der modernen Güterschifffahrt entsprechend auszubauen. Der DEK gilt als eine der bedeutendsten künstlichen Wasserstraßen Deutschlands. Über den Rhein-Herne-Kanal und den Wesel-Datteln-Kanal verbindet er das Ruhrgebiet mit dem Seehafen Emden. Drei Schleusen mit geringer Hubhöhe werden mit einer Spundwandkammer ausgeführt, die übrigen mit größerer Hubhöhe in Massivbauweise mit einem durchgehenden Stahlbeton-U-Rahmen.

Baugrund- und Grundwasserverhältnisse spielen grundsätzlich eine entscheidende Rolle in der Planung und Ausführung von Wasserbauwerken. Eine Erarbeitung einheitlicher Vorgehensweisen bei den fünf Schleusen in geotechnischer und geohydraulischer Hinsicht ist teilweise möglich, teilweise erfordern unterschiedliche Randbedingungen in Baugrund und Grundwasser jedoch eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Standorte. Eine standortübergreifende Herausforderung besteht zum Beispiel darin, dass im Grundwasser eine Betonaggressivität infolge kalklösender Kohlensäure festgestellt wurde. Ein chemischer Angriff durch kalklösende Kohlensäure auf den Zementkörper von Verpressankern oder Mikropfählen kann sich gravierend auf deren Tragverhalten auswirken. Derartige Verankerungselemente können daher nur eingeschränkt zum Einsatz kommen, teilweise sind Alternativlösungen wie zum Beispiel gerammte Stahlpfähle erforderlich.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist am Standort Gleesen bereits die Schleusenbaugrube fertiggestellt, an weiteren Standorten sind Arbeiten zur Baustelleneinrichtung sowie Erdbau- und Ufersicherungsmaßnahmen in den Vorhöfen erfolgt. Die Verkehrsfreigabe des Gesamtprojektes für das Großmotorgüterschiff ist für 2029 vorgesehen.

1. Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Beitrags sind die fünf Schleusen an der sogenannten Schleusentreppe Rheine, zwei davon liegen in Nordrhein-Westfalen und drei in Niedersachsen. Im Rahmen des Gesamtprojektes „Neue Schleusen DEK-Nord“ werden die fünf Schleusen durch einen Neubau ersetzt. Das Projekt Neue Schleusen DEK-Nord ist ein wesentlicher Baustein in dem Vorhaben, die Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals (DEK) von Bergeshövede bis Papenburg den Anforderungen der modernen Güterschifffahrt entsprechend auszubauen. Nachdem die Südstrecke zwischen Datteln und Bergeshövede bereits seit 2007 vom Großmotorgüterschiff befahren werden kann, soll dies zukünftig auch auf der Nordstrecke möglich sein. Der DEK selbst gilt als eine der bedeutendsten künstlichen Wasserstraßen in Deutschland. Über den Rhein-Herne-Kanal (RHK) und den Wesel-Datteln-Kanal (WDK) verbindet er das Ruhrgebiet mit dem Seehafen Emden. Bei Bergeshövede liegt der Anschluss

an den Mittellandkanal (MLK), welcher die Verbindung zu den Industrieregionen in Mittel- und Ostdeutschland herstellt (Maßmann 2015).

Die fünf Schleusen des Projektes „Neue Schleusen DEK-Nord“ haben nach rund 100 Jahren ihre Lebensdauer erreicht und entsprechen in ihren Abmessungen nicht den genannten Anforderungen. Ein vollständiger Ersatz der Schleusen wurde daher erforderlich.

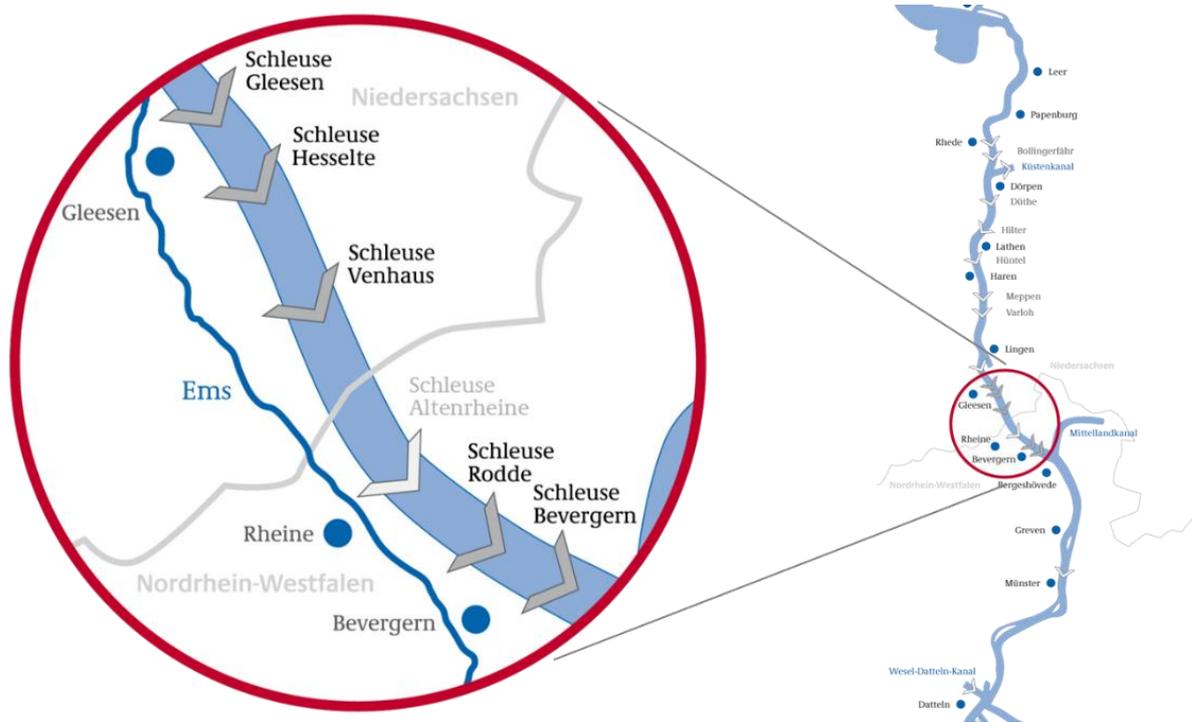


Abb. 1: Schleusen des Projektes "Neue Schleusen DEK-Nord" an der Schleusentreppe Rheine (Quelle: WNA Datteln)

2. Bauwerk

An jedem der Schleusenstandorte befindet sich neben der in Betrieb befindlichen sogenannten „Großen Schleuse“ aus dem Jahr 1914 auch eine rund 15 Jahre ältere Schleuse, die sogenannte „Kleine Schleuse“. Die Lageplanung für den jeweiligen Schleusenneubau unterliegt damit besonderen Anforderungen. Maßgebend für die Standortwahl ist die Aufrechterhaltung des Verkehrs während der Bauzeit und die Vermeidung negativer Auswirkungen der Baumaßnahme, insbesondere der Baugrubenherstellung auf die Großen Schleusen. Des Weiteren sind Belange des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Der Neubau der Schleusenanlagen umfasst auch eine bautechnisch aufwändige Anpassung der Vorhäfen. Hier sind nautische Gesichtspunkte zu beachten einschließlich der Breitstellung von Warte- bzw. Liegeplätzen für Großmotorgüterschiffe und Übergroßmotorschiffe sowie für Sportboote. Beispielhaft gibt Abb. 2 einen Überblick über die Lageverhältnisse am Schleusenstandort Gleesen.



Abb. 2: Luftbild der Schleusenanlage Gleesen im August 2019 (Quelle: WNA Datteln)

Die Schleusen selbst werden in einem zukunftsorientierten, einheitlichen Standard von 140 m Kammerlänge und 12,50 m Kammerbreite gebaut. Für die Schleusenkammer kommen dabei zwei unterschiedliche Bauweisen zur Ausführung. Für die Schleusen Bevergern und Gleesen, die mit 6,37 m und 8,10 m die größeren Hubhöhen aufweisen, sieht die Konstruktion einen flachgegründeten durchgehenden U-Rahmen in Massivbauweise vor. In Rodde, Venhaus und Hesselte sind die Hubhöhen mit rund 3,50 m geringer. Hier werden die Kammern in Spundwandbauweise ausgeführt. Der vertikale Baugrubenverbau bleibt dabei als spätere Kammerwand bestehen. Die Häupter werden an allen Schleusen in Massivbauweise errichtet. Aus Gründen der Wasserbewirtschaftung werden in Bevergern und Gleesen Sparbecken integriert. Abb. 3 und Abb. 4 zeigen einen schematischen Querschnitt der Schleusenanlagen Bevergern und Rodde mit den unterschiedlichen Konstruktionen der Schleusenammern.

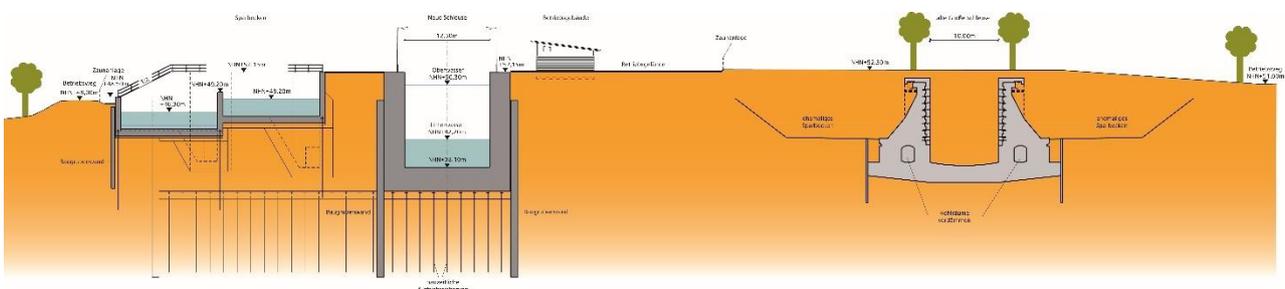


Abb. 3: Querschnitt Schleusenanlage Bevergern (Quelle: WNA Datteln)

3. Baugrund und Grundwasser

Der technischen Konzeption der Schleusenbauwerke selbst liegt trotz unterschiedlicher Fallhöhen eine Standardisierung zugrunde, die unter Berücksichtigung der Aspekte Sicherheit und Verfügbarkeit, Betrieb und Unterhaltung sowie Wirtschaftlichkeit erarbeitet wurde und Konstruktionsprinzipien festlegt. Näheres hierzu ist Maßmann und Ebers-Ernst (2017) zu entnehmen. Auch hinsichtlich der Bewertung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse spielt für den einzelnen Schleusenstandort der Kontext des Gesamtprojektes eine wichtige Rolle. Erkenntnisse aus der Baugrunderkundung sowie Erfahrungen bei der Bauausführung werden stets auf ihre Übertragbarkeit auf die anderen Schleusenstandorte hin betrachtet und ihre Relevanz für die weitere Planung und Bauausführung an allen Schleusenstandorten überprüft.

Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sind grundsätzlich lokal zu betrachten und zu bewerten. Eine umfangreiche Baugrunderkundung wurde von der BAW an jedem der fünf Schleusenstandorte durchgeführt und die Ergebnisse standortspezifisch in jeweils einem Geotechnischen Bericht zusammengefasst. Die Baugrundverhältnisse sind unterschiedlich und auch innerhalb eines Schleusenstandortes nicht zwangsläufig homogen. Aufgrund der naturräumlichen Nähe der Standorte untereinander und der gemeinsamen glazialen Prägung des Projektgebietes lassen sich aber Parallelen feststellen und aus den Eigenschaften einzelner Bodenschichten Annahmen für Schichten anderer Schleusenstandorte ableiten.

So wurden umfangreiche Vorversuche, die bereits 2011 im Vorfeld der eigentlichen Baumaßnahmen durchgeführt wurden, so konzipiert, dass diese nicht an allen, sondern nur an ausgewählten Standorten in ausgewählten Schichten erfolgten und Erkenntnisse für andere Standorte genutzt werden konnten. Im Wesentlichen wurden bei den Vorversuchen an drei Schleusenstandorten Proberammungen von Spundwänden sowie Probelastungen an Verpressankern, Mikropfählen und Spundwänden durchgeführt. Ziel dabei war, den Erfolg bautechnischer Verfahren einschätzen und Bauteilwiderstände festlegen zu können. Eindrucksvoll aufgezeigt wurde zum Beispiel bei den Proberammungen, welche Probleme Steine und Blöcke, im Kontext von glazialen Sedimenten auch Findlinge genannt, für Verfahren des Spezialtiefbaus verursachen können (Abb. 6). Eine detaillierte Beschreibung der Vorversuche ist in Bergholz und Herten (2012) zu finden.



Abb. 6: Proberammung mit Hydraulikrammbär und deformiertes Spundwandprofil nach der Rammung (Quelle: WNA Datteln)

Insbesondere die Proberammungen und Probelastungen von Spundwandprofilen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse bekamen eine neue Bedeutung als festgestellt wurde, dass an allen Schleusenstandorten eine Betonaggressivität infolge kalklösender Kohlensäure vorliegt. An allen Standorten wurden Werte gemessen, die mindestens eine Einstufung in die Expositionsklasse XA1 erfordern. Ein chemischer Angriff auf den Zementkörper durch kalklösende Kohlensäure kann sich gravierend auf das Tragverhalten von Verankerungselementen wie Verpressanker oder Mikropfähle auswirken. Die chemische Reaktion mit dem Zementstein kann zum einen eine Schmierschicht verursachen, die den Verbund zwischen Verpresskörper und Baugrund verringert und zum anderen den Spannungszustand im Boden verändern. Letzterer wird durch den Verpressvorgang erzeugt und bestimmt die Tragfähigkeit von Verpressankern und verpressten Mikropfählen maßgeblich.

Zunächst wurden nur vereinzelt erhöhte Werte kalklösender Kohlensäure im Grundwasser festgestellt. Als bei einer erneuten Messkampagne die Werte deutlich höher lagen und eine Literaturrecherche zeigte, dass bei Verpressankern unter dem Einfluss kalklösender Kohlensäure ein markanter Tragfähigkeitsverlust tatsächlich festgestellt wurde, erfolgte die Empfehlung der BAW, Verpressanker und verpresste Mikropfähle nicht im bisher geplanten Umfang auszuführen. Der Empfehlung der BAW folgend dürfen derartige Verankerungselemente an den Schleusenneubauten des DEK-Nord nur verbunden mit geringeren Tragfähigkeiten und einer Begrenzung der Einsatzdauer angewendet werden. Für die Rückverankerung von Dauerbauwerken mussten daher Alternativen gefunden werden.

4. Ramppfähle zur dauerhaften Ufersicherung

Daraufhin erfolgte im unteren Vorhafen der Schleuse Gleesen die Rückverankerung der dauerhaften Ufersicherung auf weiten Strecken durch gerammte Stahlpfähle. Andere Alternativen wie Ankertafeln und Fangedammkonstruktionen waren aufgrund der lokalen Platzverhältnisse und zum Schutz des naheliegenden alten Baumbestandes nicht überall möglich. Rund 80 Profile auf der linken und 100 Profile auf der rechten Uferseite, jeweils des Typs HP 305*110 mit Längen von 18 bis 24 m mussten hierfür mittels schlagender Rammung in den Baugrund eingebracht werden. Der Materialverbrauch sowie der Geräteaufwand und die Lärmemissionen bei der Herstellung sind bei Rückverankerungen durch Ramppfähle im Vergleich zu anderen Bauweisen erheblich, einen Eindruck hiervon gibt Abb. 7.



Abb. 7: Ramppfähle - Profile und Einbringung mittels schlagender Rammung (Quelle: BAW)

Kennwerte für die Bemessung zugbelasteter Stahlrammpfähle mussten im Zuge der Umplanung nach Abschluss der eigentlichen Baugrunderkundung ermittelt werden. Im Rahmen der Baugrunderkundung wurden lediglich charakteristische Kennwerte für Mantelreibung und Spitzendruck druckbelasteter Spundwände bestimmt. Gemäß Handbuch EC 7, Band 1(2015) können Bemessungswerte für Zugpfähle analog zu druckbelasteten Pfählen grundsätzlich durch Proberammungen oder auf Grundlage von Erfahrungswerten ermittelt werden. Letzteres ist allerdings schwieriger als bei druckbelasteten Pfählen, da bei zugbelasteten Pfählen bei gleichen Baugrundverhältnissen in der Regel von geringeren Mantelreibungswerten auszugehen ist und über die tatsächliche Größe dieser Abweichung wenig Erfahrungen vorliegen.

An dieser Stelle konnte auf die erwähnten Vorversuche zurückgegriffen werden. Die Proberammungen erfolgten unter anderem an Kombinationsprofilen mit Trägerprofilen des Typs HZ 1080M A. Auch wenn die Proberammungen im Hinblick auf einen möglichen späteren Einsatz als Baugrubenwand erfolgten und der Fokus dieser Untersuchung auf einem Vergleich unterschiedlicher Einbringverfahren lag, ermöglichten die Einbringprotokolle der Trägerprofile eine qualitative Unterscheidung des Widerstandes der unterschiedlichen Bodenschichten. Unmittelbar neben den Proberammungen erfolgten bei den Vorversuchen sowohl statische als auch dynamische Probelastungen an Spundwänden. Festgestellt wurde hierbei zum einen eine gute Übereinstimmung zwischen der dynamischen und der statisch ermittelten Gesamttragfähigkeit und zum anderen die deutlich verringerte Tragfähigkeit bei der statischen Zugbelastung gegenüber der Druckbelastung. Die Auswertung der Proberammungen im Einzelnen ist in Bergholz und Herten (2012) erläutert.

Aus einer Gesamtbetrachtung der Ergebnisse der Probelastungen, der Proberammungen und der Erfahrungswerte der EA-Pfähle (2012), die wiederum aus den Ergebnissen der Drucksondierungen abgeleitet werden, konnten für die anstehenden Lockergesteinsschichten charakteristische Werte für die Mantelreibung zugbelasteter Stahlrammpfähle ermittelt werden.

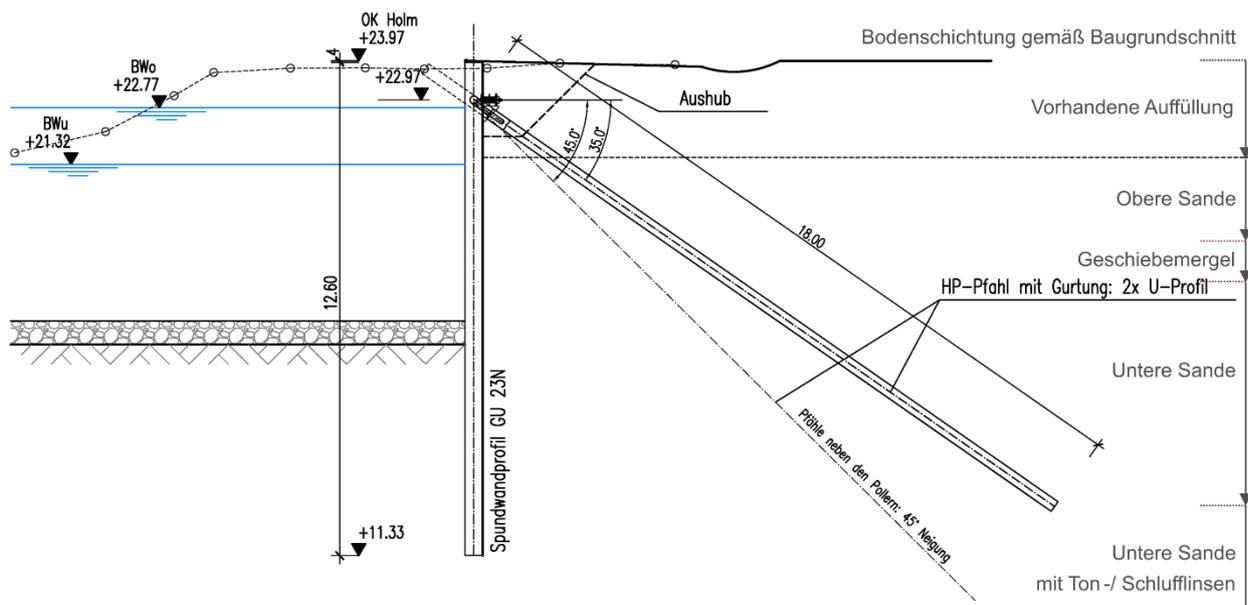


Abb. 8: Uferspundwand mit Rückverankerung durch Rammpfahl - Beispiel eines Regelquerschnitts

Entsprechend DIN EN 1997-1:2014-03 sind grundsätzlich 2 % der Zugpfähle zu überprüfen, die näheren Vorgaben hierzu sind in den EA-Pfähle (2012) formuliert. Die ersten Prüfungen erfolgten durch Zugversuche an separat hergestellten Prüfpfählen. Hierbei wurden bewusst Prüflasten gewählt, die die statisch erforderlichen Prüflasten überschreiten, um auf diese Weise das tatsächliche Tragverhalten der Rammpfähle näher zu untersuchen.



Abb. 9: Zugversuche an Rammpfählen - Aufbau der Prüfeinrichtung (Quelle: BAW)

Abb. 9 zeigt den Aufbau der Prüfeinrichtung und Abb. 10 eine beispielhafte Last-Verformungslinie. Die erforderliche Prüflast betrug in diesem Fall 1300 kN, die gewählte Prüflast 2 MN. Unter Beachtung der geforderten Verformungskriterien wurde die Last stufenweise gesteigert. In diesem Beispiel war die Grenztragfähigkeit bei 1825 kN erreicht.

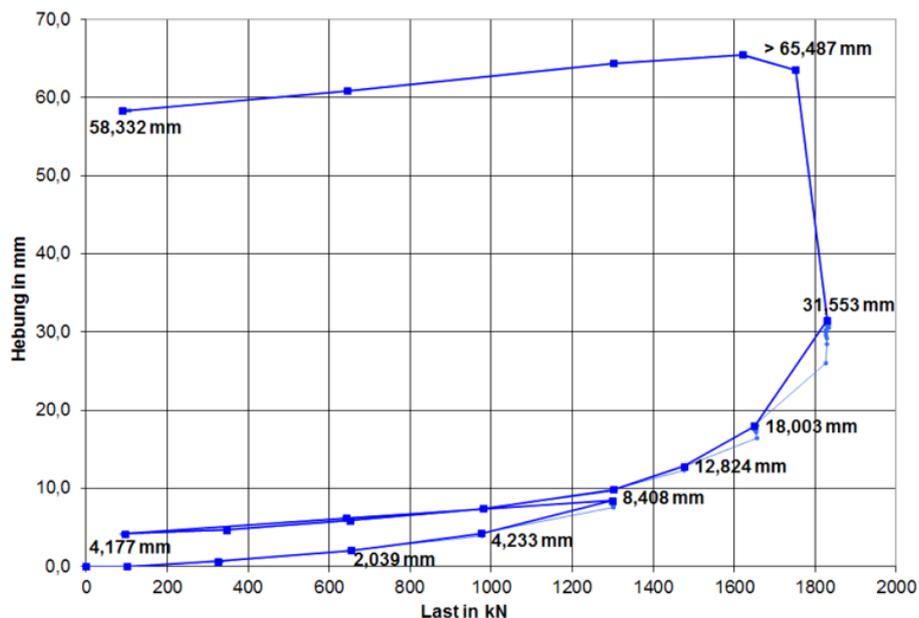


Abb. 10: Zugversuche an Rammpfählen - Last-Verformungslinie

Mit der erfolgreichen Ausführung mehrerer Zugversuche lagen weitere Erkenntnisse zum Tragverhalten von zugbelasteten Stahlrammpfählen in den gegebenen Baugrundverhältnissen vor. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse war eine erweiterte Betrachtung hinsichtlich der für eine Bemessung anzusetzenden Mantelreibung bodenschichtspezifisch möglich und die charakteristischen Werte konnten wie in Tabelle 1 aufgeführt teilweise erhöht werden.

Tabelle 1: charakteristische Grenzmantelreibung für zugbelastete Stahlpfähle

Bodenschicht	Mantelreibung in kN/m ²	Mantelreibung in kN/m ² (Anpassung nach Zugversuchen)
Auffüllung	-	-
Obere Sande	40	60
Geschiebemergel/-lehm	15	15
Untere Sande	70	70
Sande mit Ton-/ Schlufflinsen	50	60

Bei der Ableitung statisch anzusetzender Kennwerte aus Versuchsergebnissen ist zu berücksichtigen, dass sich das Tragverhalten im Versuch vom Tragverhalten im Endzustand bzw. vom statisch anzunehmendem Tragverhalten unterscheidet. So wird im Versuch über der gesamten Pfahllänge eine Mantelreibung aktiviert, während im Endzustand, im statischen System der rückverankerten Uferspundwand davon ausgegangen werden muss, dass im Bereich des aktiven Erddruckkeils keine Mantelreibung wirkt. Im Versuch kann dies berücksichtigt werden, indem hinter der Spundwand eine entsprechende Abgrabung vorgenommen wird, die eine Kraftübertragung in diesem Bereich verhindert. Ist dies nicht möglich, muss bei der Ableitung der Grenzmantelreibung aus dem Versuch eine Abminderung erfolgen.

Insgesamt stellt sich die Rückverankerung von dauerhaften Uferspundwänden durch gerammte Stahlträgerprofile als aufwändige, aber mögliche und zuverlässige Alternative heraus. Angestrebt wird dennoch, die Tragfähigkeitsverluste von Verpressankern unter dem Einfluss kalklösender Kohlensäure zukünftig besser einschätzen zu können. Aus diesem Grund wurden am Schleusenstandort Gleesen separate Forschungsanker installiert. Über lange Zeiträume wird hier die Entwicklung der Ankerkräfte unter dem Einfluss kalklösender Kohlensäure beobachtet. Einzelheiten zu diesem Forschungsvorhaben sind Heidenreich und Herten (2020) zu entnehmen. Ziel ist es, auf Grundlage der Forschungsergebnisse genauere Regelungen zum Einsatz von Verpressankern unter derartigen Bedingungen formulieren zu können. Der Aufwand für Alternativlösungen wie im vorliegenden Beispiel könnte damit zukünftig verringert werden.

Literatur

Bergholz, K.; Herten, M. (2012): Proberammungen und Probelastungen von Spundwänden am DEK-Nord. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): BAW Mitteilungen 95. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 125-138.

Bundesanstalt für Wasserbau (2013): Neubau der Schleusenanlage Gleesen – Geotechnischer Bericht (BAW-Gutachten, A3952.02.10116-2).

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hg.) (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle. 2., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Ernst & Sohn.

DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.) (2015): Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln, 2., aktualisierte Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH

Heidenreich, Fabian; Herten, Markus (2020): Auswirkungen von kalklösender Kohlensäure im Grundwasser auf den Neubau von fünf Schleusen an der Schleusentreppe Rheine. In: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Prof. Dr.-Ing. Carola Vogt-Breyer (Hgg.): 12. Kolloquium Bauen in Boden und Fels - Tagungshandbuch 2020. Tübingen, Narr Francke Attempto Verlag GmbH + Co. KG. S 367-376.

Maßmann, Birgit; Neif, Simon; Renze, Helmut (2019): Planung und Umsetzung von fünf großen Bauprojekten an der Dortmund-Ems-Kanal-Nordstrecke. In Bautechnik 96 (8), S. 632-637.

Maßmann, Birgit; Ebers-Ernst, Jeannette (2017): Eine außergewöhnlich diffizile bautechnische Aufgabe: Fünf neue Schleusen entlang des Dortmund-Ems-Kanals. In: Der Prüflingenieur 51, S. 36-45.

Maßmann, Birgit (2015): 100 Jahre alte Schleusen werden ersetzt: „Das Projekt Neue Schleusen DEK-Nord“. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Projekte der Geotechnik an Bundeswasserstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 73-81.

Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe im Hamburger Hafen – Teilprojekt Baggern und Verbringen – Ein Baustellenbericht zu der Frage: „Kann nach 17 Jahren Planung noch was schiefgehen?“

Sebastian Sandt, Ramboll
Karsten Peters, Ramboll
Birte Gutbrod, Hamburg Port Authority
Ulrich Schmekel, Hamburg Port Authority
Wolfgang Bode, Hamburg Port Authority
Christian Jonas, Hamburg Port Authority
Kobbe Peirs, Jan De Nul
Servaas Waelkens, Jan De Nul

Nach mehr als 17 Jahren Planung starteten im Jahr 2019 die Baggerarbeiten zur Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe. Im Hamburger Zuständigkeitsbereich wurden die Nassbaggerarbeiten von Jan De Nul im Auftrag der Hamburg Port Authority ausgeführt. Das Ingenieurbüro Ramboll begleitete die Maßnahme als Planer der Unterwasserablagerungsfläche (UWA) Neufelder Sand und Bauüberwacher der Nassbaggerarbeiten.

Im Zuge des Projektes wurden rund 3 Mio. m³ Baggergut im Hamburger Hafen gewonnen und in die UWA Neufelder Sand (nahe Brunsbüttel) verbracht. Neben der Verbringung des Baggerguts wird das Material in der UWA gleichzeitig einer strombaulichen Verwendung zugeführt, um die ausbaubedingte Änderung der Tidedynamik in der Elbe zu reduzieren.

Die Arbeiten im Hamburger Hafen wurden im Jahr 2020 ausgeführt. In Summe umfasst das Teilprojekt Baggern und Verbringen ein Auftragsvolumen von rund 70 Mio. €. Die Bauarbeiten konnten trotz einer Vielzahl an Restriktionen und teils unkalkulierbarer Randbedingungen erfolgreich innerhalb des Zeit- und Kostenrahmens realisiert werden. Nichtsdestotrotz bleibt ein Bauprojekt dieser Größenordnung nicht von Unwägbarkeiten und Überraschungen im Bauablauf verschont.

Im Rahmen des Beitrags werden die besonderen Herausforderungen der durchgeführten Nassbaggerarbeiten im Hamburger Zuständigkeitsbereich in einem Baustellenbericht bildnerreich zusammengefasst. Beispielhaft werden folgende Herausforderungen angesprochen:

- Aus- und Einbau unter laufendem Betrieb des Hamburger Hafens
- Umfangreicher Geräteeinsatz (5 TSHD, 1 BHD + 2 SHB, 1 CSD, ...)
- Innovatives Gerätekonzept für den Einbau des Baggerguts
- Vielzahl an Restriktionen und zeitlichen Abhängigkeiten
- Einfluss von COVID-19
- Weitere Besonderheiten aus dem Baustellenalltag

1. Einleitung / Projektvorstellung der Gesamtmaßnahme

Im Juli 2019 starteten die Baggerarbeiten für die Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe. Gemäß Ausbauziel sollen zukünftig Schiffe mit einem Salzwassertiefgang von 13,5 m

tideunabhängig bzw. 14,5 m tideabhängig den Hamburger Hafen anlaufen können. Insgesamt ist eine rund 140 km lange Fahrrinne an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Hierfür sind mehr als 30 Mio. m³ Sediment zu baggern. Neben der Vertiefung der bestehenden Fahrrinne stellt die sogenannte „Begegnungsbox“ ein weiteres zentrales Element der Maßnahme dar. Die Begegnungsbox ist eine rund 7 km lange Verbreiterung der Fahrrinne auf 385 m im Bereich der Landesgrenze Hamburg / Schleswig-Holstein. Infolge der Aufweitung ergibt sich eine signifikante Kapazitätserhöhung für die tideabhängig aus- bzw. einlaufenden Großcontainerschiffe.

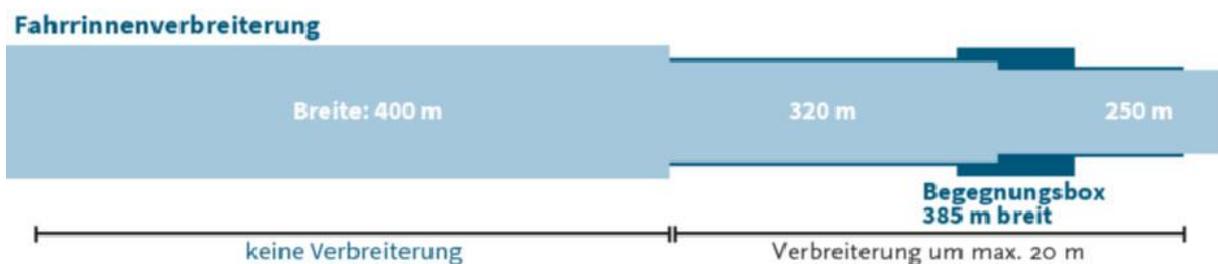
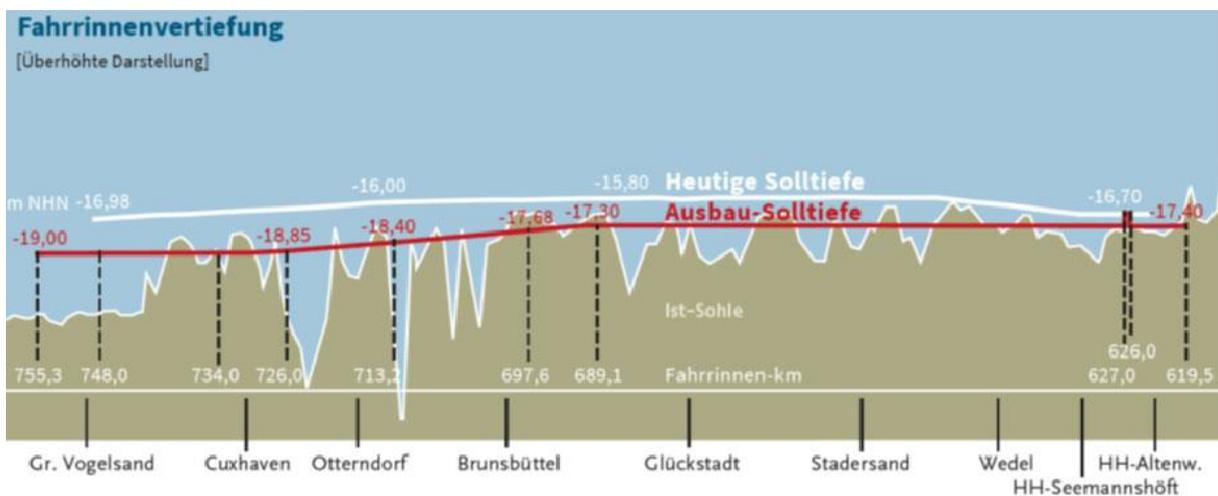


Abb. 1: Übersicht der Gesamtmaßnahme

Das im Rahmen der Baggerarbeiten gewonnene Baggergut wird vorrangig für die Errichtung von Strombauwerken verwendet. In diesen Unterwasserablagerungsflächen (UWA) wird das Baggergut im Bereich der Elbmündung gezielt subaquatisch eingebaut, um somit die prognostizierte ausbaubedingte Änderung der Tidedynamik zu kompensieren. Dies erreichen die UWA's, indem sie die Reibung im Gewässerbett erhöhen und die Strömung gezielt lenken. Durch die Dämpfung der Tideenergie werden folgende positive Wirkungen erzielt:

- Minimierung ausbaubedingter Tidehubänderungen
- Förderung des ebbstromorientierten Sedimenttransportes mit dem Ziel, langfristig den Aufwand zur Unterhaltung der Fahrrinne zu begrenzen
- Minderung ungünstiger natürlicher morphologischer Trends, z. B. der Zunahme der Strömungsbelastung der Elbufer, der Erosionstendenz der Medemrinne nach Norden und der Auflandungstendenz der Nebeneiben, Nebenflüsse und Elbhäfen

Soweit eine strombauliche Verwendung des Baggergutes nicht möglich ist, wird es zu der zusätzlich ausgewiesenen Umlagerungsstelle Neuer Luechtergrund gebracht.



Abb. 2: Unterwasserablagerungsflächen

2. Projekt Baggern und Verbringen der Hamburg Port Authority (HPA)

Im März 2020 begannen ebenfalls im Hamburger Zuständigkeitsbereich die Baggerarbeiten zur Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe. Das belgische Nassbaggerunternehmen Jan De Nul wurde von der HPA mit der Ausführung der Baggerarbeiten beauftragt. Ramboll war bereits als Planer der UWA Neufelder Sand seit 2012 im Projekt involviert und unterstützte die HPA im Zuge der Bauarbeiten mit verschiedenen baubegleitenden Ingenieurleistungen (Bauoberleitung, Bauüberwachung, Nachtragsmanagement, SiGeKo, geotechnische Beratung etc.).

Im Zuge der Maßnahme wurden die Fahrrinne im Hamburger Zuständigkeitsbereich sowie unterschiedliche Hafenecken und Liegeplätze ausgebaut. Insgesamt dauerten die

Baggerarbeiten 6,5 Monate, in denen rund 2,8 Mio. m³ Ausbaubaggergut in die rund 80 km entfernte UWA Neufelder Sand verbracht wurden.

Vorlaufend wurden im Hamburger Hafen die kampfmittelverdächtigen Flächen (ca. 700.000 m²) auf potenzielle Kampfmittel sondiert und die daraus resultierenden Verdachtspunkte (insgesamt 274 Stück) identifiziert und geräumt. Parallel und nachlaufend zu den Baggerarbeiten wurden zudem über 200 Grundhindernisse geborgen. Die Baukosten blieben dabei mit ca. 65 Mio. € netto innerhalb des gesetzten Budgets und zugleich konnte die Bauzeit aufgrund eines verzögerten Vergabeverfahrens erfolgreich beschleunigt werden. In dem Vortrag werden die besonderen Herausforderungen des Projektes näher erläutert.

3. Übersicht Geräteinsatz

Innerhalb der sechseinhalbmonatigen Bauzeit wurden in dem Projekt folgende Geräte eingesetzt:

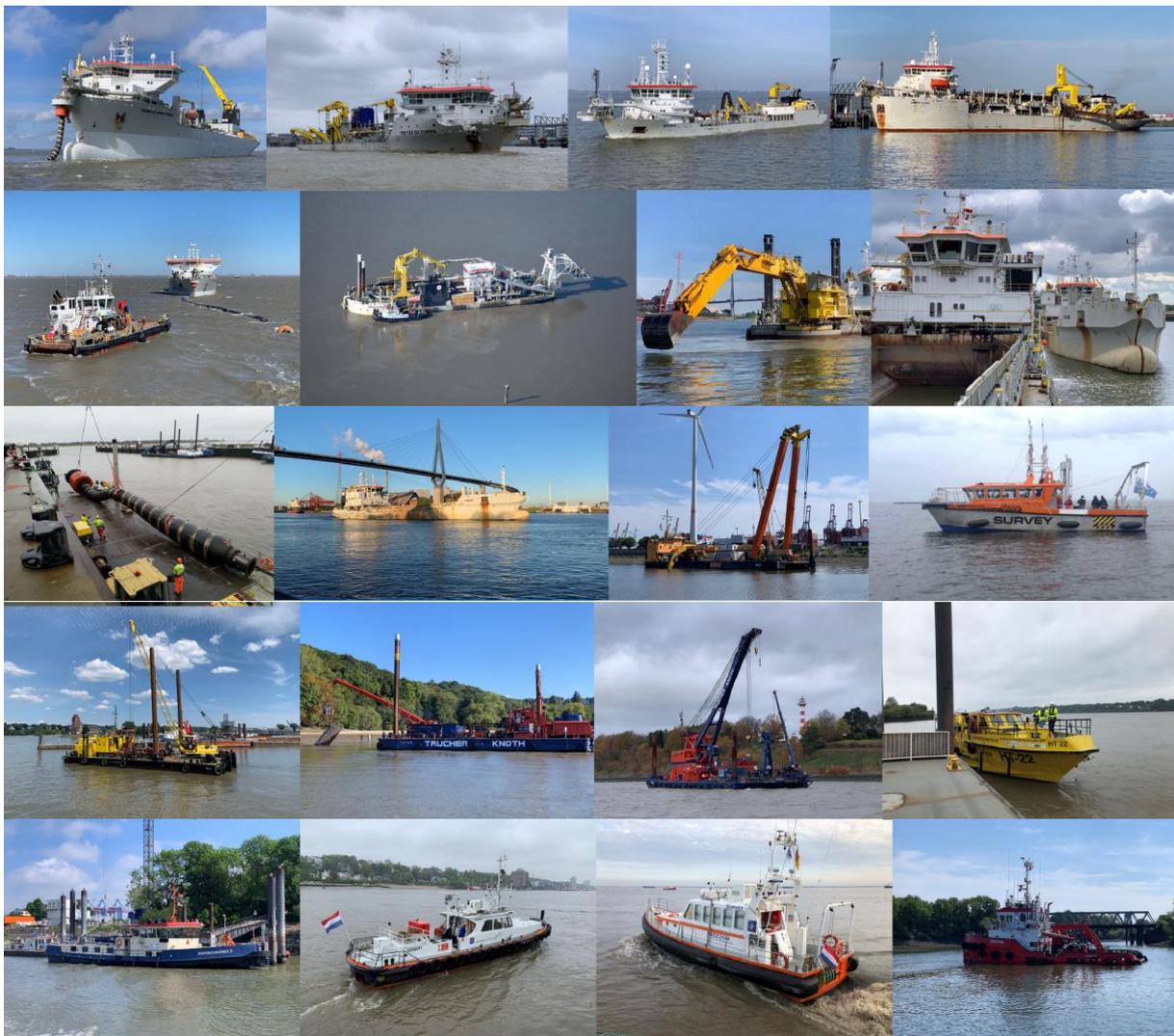


Abb. 3: Impressionen Geräteinsatz

- 5 Laderaumsaugbagger (TSHD)
- Pedro Álvares Cabral (14.000 m³; Ausbau, Transport)

- Tristão da Cunha (3.500 m³; Ausbau, Transport, Einbau)
- Taccola (4.400 m³; Ausbau, Transport, Einbau)
- James Cook (11.750 m³; Unterhaltung)
- Al-Idrisi (7.500 m³; Unterhaltung)
- 1 Tieflöffelbagger (BHD)
- Gian Lorenzo Bernini (Liebherr P995; Ausbau)
- 2 Spaltschuten (SHB)
- Boussole (3.700 m³; Transport und Einbau)
- Tiger (3.700 m³; Transport und Einbau)
- 1 Schneidkopfsaugbagger (CSD)
- Fernão de Magalhães (7.000 KW, Vorschneiden der harten Böden)
- 1 Multitool
- Baltic Lift (Ponton mit 200 t-Kran, Kampfmittelidentifizierung und -bergung)
- 3 Kran- und Tauchereinsatzschiffe
- HT8 (Kran- und Tauchereinsatzschiff, 15 t)
- TK9 – Lift100 (Kranschiff, 90 t)
- TK10 – Wal (Kranschiff, 110 t)
- mehrere Peil- und Transportboote
- mehrere Schlepper
- 150 m lange Spülleitung (DN800) + Multicat

4. Baumaßnahme unter laufendem Hafenebetrieb

Die Baumaßnahme wurde unter laufendem Betrieb des Hamburger Hafens ausgeführt. Hierfür waren vorlaufend und parallel zur Baumaßnahme umfangreiche Abstimmungen mit dem Hafenskapitän, den Hafen- und Elblotsen, dem Kampfmittelräumdienst sowie der Luftsicherheitsbehörde erforderlich. Trotz des hohen Verkehrsaufkommens kam es nur vereinzelt zu Zwischenfällen (Auflaufen eines Ausflugsbootes auf ein Ankerdraht bei der Einlaufparade der Peking, Losreißen einer Schute vom Tieflöffelbagger beim Passieren eines großen Containerschiffs). Bei diesen Unfällen blieb es bei Materialschäden, Personen kamen nicht zu Schaden.

Eine besondere Herausforderung stellte die Baggerung des Containerterminals Altenwerder (CTA) dar. Der Betrieb des Terminals musste während der Ausbauarbeiten aufrecht erhalten werden. Mit etwa 9.000 Schiffsanläufen pro Jahr war dies kein leichtes Unterfangen. Letztendlich erfolgte die Baggerung der hier zu baggernden 30.000 m³ „auf Zuruf“. Sofern sich räumlich und zeitlich ein geeignetes Fenster in der Liegeplatzbelegung auftat (mindestens 200 m freie Kailänge für 6 h), wurde die Bauleitung vom Terminalbetreiber kontaktiert und der Tieflöffelbagger kurzfristig aus der Süderelbe zu dem jeweiligen Liegeplatz verholt. Für den besseren GPS-Empfang mussten während der Baggerung die Containerbrücken aufgetoppt werden. Unter den genannten Randbedingungen dauerte der Ausbau des CTA mehr als 3 Wochen.



Abb. 4: Baggerarbeiten bei laufendem Hafbetrieb

5. Innovatives Einbaukonzept

Für das Baggergut aus dem Hamburger Zuständigkeitsbereich steht die rund 80 km entfernte UWA Neufelder Sand als einzige Verbringoption zur Verfügung. Die UWA Neufelder Sand umfasst eine Fläche von rund 380 ha sowie ein Aufnahmevermögen von rund 10 Mio. m³. Parallel wurde die UWA Neufelder Sand ebenfalls vom Auftragnehmer der WSV befüllt, der die Baggerarbeiten zwischen Wedel und der Elbe durchführte. Zudem wurde als Auflage aus dem Klageverfahren beim Bundesverwaltungsgericht in Leipzig die Abdeckung des Hamburger Baggerguts innerhalb von 3 Monaten gefordert. Die daraus entstehende zeitlich und räumliche Koppelung der Bauabläufe zweier unterschiedlicher Auftragnehmer und zwei unterschiedlicher Auftraggeber (WSV und HPA) stellte in der Planung und Bauausführung eine besondere Herausforderung dar. Erschwerend kam hinzu, dass die parallele Befüllung von unterschiedlichen Geräteketten zu beachten war (Schuten HPA, Hopper HPA, Hopper WSV).

Das Ausschreibungskonzept von HPA/Ramboll sah für den Einbau der Laderaumsaugbagger eine im Maximum rund 3 km lange Spülleitung vor, die von der Baustelleneinrichtungsfläche der HPA bis zu den Einbaubereichen in der UWA reicht und dort über ein Verteilgerät eingebaut wird. Da der Einbau fortlaufend von Osten nach Westen und von Norden nach Süden erfolgen musste, war das Verklappen der HPA Schuten im Bereich der wattnahen Flächen im Norden vorgesehen. Südlich davon sollte das Verspülen des HPA-Materials aus der Hopperbaggerung erfolgen, um einen Konflikt der nach Süden abgehenden Spülleitung mit den Schuten zu vermeiden. In der Ausschreibung wurde der Geräteeinsatz für den Einbau weitestgehend funktional ausgeschrieben.

Das Gerätekonzept von Jan De Nul sah entgegen dem Ausschreibungsansatz für den Einbau des Hoppermaterials den Einbau durch kleine Laderaumsaugbagger vor. Die Pedro Álvares Cabral (14.000 m³ Hopper) übernahm maßgebend den Ausbau. In der BEFläche der UWA Neufelder Sand (Gewässersohle bei ca. -12 m NHN) wurde dann das Material über eine 150 m lange

Spülleitung auf einen kleineren Laderaumsaugbagger Tristão da Cunha (3.500 m³) bzw. Taccola (4.400 m³) umgeladen. Die kleinen Hopperbagger konnten anschließend aufgrund ihres geringeren Tiefgangs tideabhängig das Baggergut in der UWA mittels „Reverse Dredging“ – also das Verspülen über den Saugkopf - bodennah einbauen (Gewässersohle in der UWA liegt bei -6 bis -7 m NHN). In der Regel wurden 4 bis 5 Entladungen auf die kleinen Laderaumsaugbagger vorgenommen. Zeitweise wurde der parallele Einbau durch zwei kleine Hopper getestet, wodurch jedoch keine signifikante Optimierung des Geräteumlaufs erzielt wurde. Zielführend erwies sich hingegen die zusätzliche eigenständige Baggerung der kleinen Hopperbagger, die dadurch ebenfalls im Ausbau aktiv waren, sowie das „sanfte“ bodennahe Verklappen durch den kleinen Hopper (langsames Öffnen der Bodenluken bei geringen Wassertiefen).

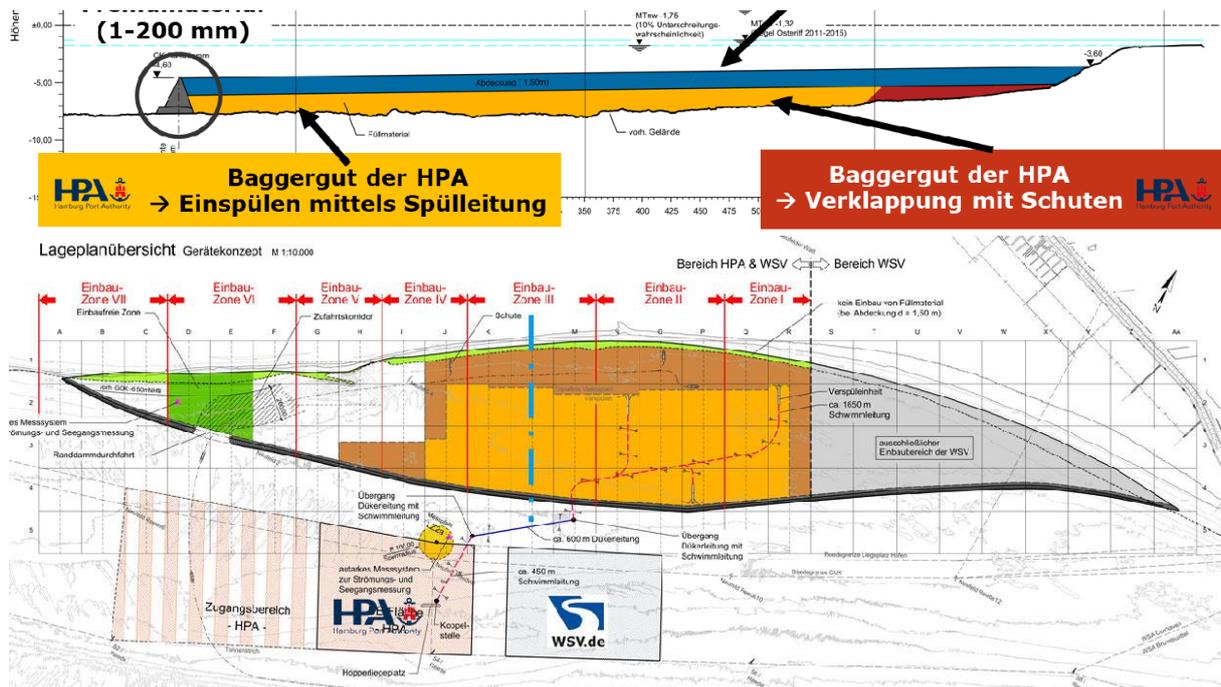


Abb. 5: UWA Neufelder Sand (Gerätekonzept der Ausschreibung)

Der Einbau von Baggergut wurde in dieser Konfiguration weltweit erstmalig vorgenommen und brachte unter den gegebenen Randbedingungen folgende Vorteile mit sich:

- vergleichsweise kurze Spülleitung
- leichtes Handling und eine geringere Anfälligkeit für Wind, Strömung, Eisgang
- größere Flexibilität im Einbau
- Verklappen und Verspülen direkt nebeneinander möglich
- keine Korridore in der UWA für Spülleitung erforderlich
- Einbau konzentriert auf eine Lokation
- Abdeckung innerhalb von 3 Monaten leichter zu erfüllen
- robust (Einbau auch bei Ausfall der Spülleitung möglich)
- Kein zusätzlicher Pflug erforderlich
- Glätten durch Einbauhopper ausreichend
- Einbautoleranz +/- 30 cm konnte erreicht werden
- Ebenfalls „sanftes“ bodennahe Verklappen“ möglich



Abb. 6: Übergabe des Baggerguts in der BE-Fläche der UWA Neufelder Sand vom großen auf den kleinen Hopperbagger; Abkoppeln des kleinen Hoppers von der Spülleitung

Mit Ausnahme von ein paar Anlaufschwierigkeiten wie einer verstopften Spülleitung erwies sich das Konzept als sehr robust und praktikabel.

6. Grundhindernisbergung

Parallel und nachlaufend zu den Baggerarbeiten wurden über 200 Grundhindernisse beseitigt. Überwiegend wurden eiszeitliche Findlinge mit einem Durchmesser von 1 bis 2,5 m geborgen. Der größte geborgene Findling wog über 50 t und hatte einen Durchmesser von rund 4 m. Weitere geborgene Objekte waren ein rund 20 t schweres Ruderblatt eines Seeschiffes, mehrere größere (Reifen-)Fender, große Torfbrocken, Baumstämme, mehrere Tonnensteine, ein kleines Kunststoffboot sowie ein Schiffswrack aus dem 1. Weltkrieg.

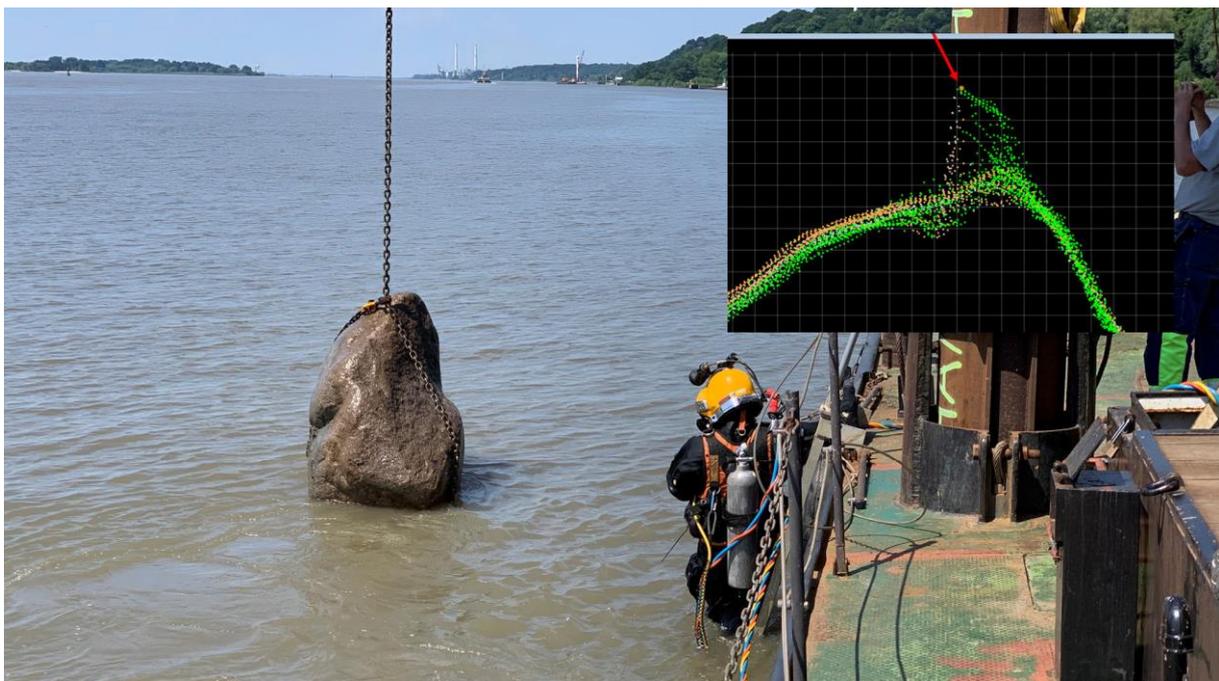


Abb. 7: Grundhindernisbergung durch die HT8

Die Identifizierung der Grundhindernisse wurde durch den Peildienst der HPA vorgenommen. Anschließend wurden diese unter Einsatz der HT8 von Hansataucher angetaucht und mithilfe des 15-t-Krans geborgen. Sofern die HT8 die Hindernisse nicht heben konnte, wurden für die Beseitigung der größeren Hindernisse die TK9 (90-t-Kran) bzw. die TK10 (110-t-Kran) eingesetzt. Grundhindernisse, die im Aktionsbereich des Tieflöffelbaggers Gian Lorenzo Bernini bzw. der Baltic Lift lagen, wurden teilweise auch durch diese Geräte geborgen.

7. Kampfmittelräumarbeiten

Vorlaufend zu den Baggerarbeiten wurde von der HPA mit Unterstützung von externen Fachplanern eine Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich der Kampfmittelbelastung durchgeführt. Dabei wurden historische Bagger- und Peilarbeiten ausgewertet. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass seit Kriegsende großflächige Veränderungen durch Baggerarbeiten sowie Aufträge und Sedimentation stattgefunden haben. Anhand von Differenzenplänen wurde zudem belegt, dass der Bombenhorizont/Gefahrenhorizont bereits großflächig abgetragen wurde. Nichtsdestotrotz konnten Kampfmittelfunde nicht ausgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung des vorgesehenen Geräteinsatzes und der daraus resultierenden Gefährdungsabschätzung mussten die Baggergeräte mit geeigneter Schutzausrüstung versehen werden. Zusätzlich mussten die mit dem Tieflöffelbagger zu bearbeitenden Bereiche vorab geräumt werden.

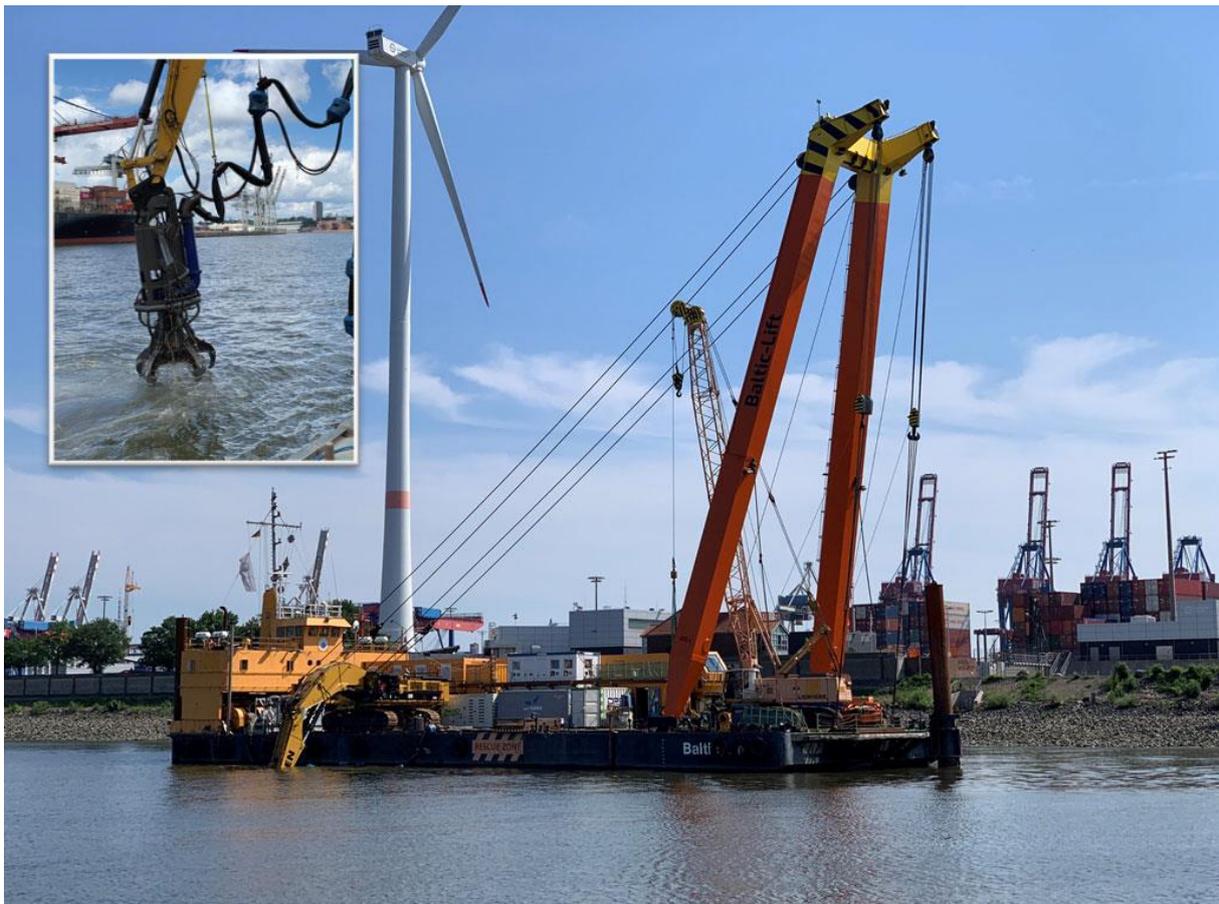


Abb. 8: Multitool Baltic Lift mit Polypgreifer (oben links)

Für die Kampfmittelidentifizierung und -räumung kam im Hamburger Hafen erstmalig ein sogenanntes „Multitool“ zu Einsatz. Dieses „Schweizer Taschenmesser“ vereint mehrere Geräte in einem und wurde vom Nachunternehmer Baltic Taucher gestellt. Speziell für diesen Einsatz wurde das Pontonschiff „Baltic Lift“ einschließlich des 200-t-Krans umgerüstet. Das Kernelement des Multitools ist ein 6 t schwerer Polypgreifer mit einer Hebekapazität von 1 t. Der Polypgreifer wird an einem separatem 10-t-Kran geführt und ist zusätzlich mit einem bildgebenden Sonar und einer DOP-Pumpe mit einer Förderleistung von 1.250 m³/h zum Freilegen der Verdachtsobjekte mittel Saugen und Spülen ausgestattet. Zusätzlich befindet sich ein Magnetometerrahmen zur Relokalisierung und Freimessung der Verdachtspunkte an Bord. Durch den Einsatz des Multitools wurde der Tauchereinsatz auf ein Minimum reduziert. Insgesamt wurden 274 Verdachtspunkte bearbeitet. Kampfmittel wurden nicht gefunden.

8. Einsatz Schneidkopfsaugbagger

Im Bereich des nördlichen Elbufers bei Blankenese wurde die Fahrrinne um rund 10m verbreitert. Der bereichsweise anstehende harte Geschiebemergel erwies sich als schwer löslich und konnte mit den Laderaumsaugbaggern nicht gefördert werden. Der Einsatz des Tieföffelbaggers hätte aufgrund der Gefährdungsbeurteilung eine vorlaufende mehrmonatige Kampfmittelräumung erfordert und damit den Terminplan erheblich überzogen. Um dieses Problem zu umgehen, wurde zusätzlich und in Hamburg erstmalig ein Schneidkopfsaugbagger mobilisiert. Der Schneidkopfsaugbagger hat das harte Material gelöst und vorgeschnitten. Anschließend konnte der vorgeschchnittene Boden durch einen Laderaumsaugbagger unter Beachtung der Sicherheitsmaßnahmen in Verdachtsflächen (Bombengitter, Saugkopfeinhausung, Saugkopfkontrolle) aufgenommen und verbracht werden. Insgesamt wurden auf diese Weise 150.000 m³ Geschiebemergel vorgeschnitten und die Bauzeit erfolgreich um mehrere Monate verkürzt.

9. COVID-19

In die Bauausführung von März bis Oktober 2020 fielen der erste und zweite Corona-Lockdown. Die Bauausführung stand dadurch vor besonderen Herausforderungen. Der persönliche Zugang des Bauherrn und der Bauüberwachung waren aufgrund der Schutzmaßnahmen nur teilweise gegeben. Baubesprechungen wurden ausschließlich per Videokonferenz durchgeführt.

Die größtenteils internationalen Schiffsbesatzungen kamen teilweise nur mit Sondergenehmigungen nach Deutschland. Die Besatzungen wurden möglichst lange zusammengehalten, um den komplizierten Wechsel mit Quarantänephase zu vermeiden. Externer Zugang war nur teilweise an Deck unter Einhaltung der Vorsorgemaßnahmen möglich.

Aufgrund eines Corona-Verdacht wurde die Schute Tiger am 6. August vom hafenärztlichen Dienst unter Quarantäne gestellt. Während der Quarantäne durfte das Schiff die Arbeiten nicht fortsetzen. Nachdem die gesamte Besatzung (einschließlich des vorher positiv getesteten Seemanns) mehrfach negativ getestet, die gesamte Crew ausgewechselt und eine gründliche Desinfektion des gesamten Schiffs durchgeführt wurde, konnte die Schute am 18. August den Betrieb wieder aufnehmen.

10. Schlussbemerkung

Trotz der genannten Herausforderungen konnte die Bauausführung des Teilprojektes Baggern und Verbringen dank der konstruktiven Zusammenarbeit aller Beteiligten innerhalb des gesteckten Zeit- und Kostenrahmens erfolgreich realisiert werden. Vielen Dank an das gesamte Team.

Aktuelle Erkenntnisse aus der Nachrechnung bestehender Kaimauern im Hamburger Hafen

Dipl.-Ing. Frank Feindt
Dr.-Ing. Bozhana Kocak
Hamburg Port Authority AÖR

Die Hamburg Port Authority AÖR (HPA) stellte im Herbst 2019 eine Nachrechnungsrichtlinie für Kaimauern vor. Der Zweck der Richtlinie ist die Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Kaimauern, die nicht nach heutiger Normung errichtet wurden. Bei solchen Anlagen liegen zudem häufig eine gegenüber der ursprünglichen Statik veränderte Lastsituation und/oder bauliche Schäden vor, wodurch eine erneute Berechnung erschwert wird. Die Beurteilung der Konstruktionen erfolgt in fünf Stufen, wobei mit jeder Stufe die Komplexität und die Genauigkeit der Betrachtung zunehmen. Die statische Berechnung von insgesamt 74 Anlagen im Zuständigkeitsbereich der HPA gemäß Nachrechnungsrichtlinie wird aktuell durchgeführt und ist ein wesentlicher Bestandteil der Zustandswertung der betreffenden Kaimauern. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Grundlagen der Nachrechnung erläutert und konkrete Ergebnisse vorgestellt und eingeordnet. Die aktuellen Berechnungen finden in Stufe 0 der Richtlinie statt. Ziel dieser ersten Stufe ist es, in einem überschaubaren Zeitraum zu einem belastbaren rechnerischen Ergebnis zu kommen, womit ein akuter Handlungsbedarf erkannt und ggf. notwendige Maßnahmen eingeleitet werden können. Dabei handelt es sich beispielsweise um Teil- oder Vollsperrungen von Anlagen, Installation von Messtechnik und Überwachungssystemen o.Ä. In den anschließenden Stufen steigt die Untersuchungstiefe mit dem Ziel, eventuell vorhandene Tragfähigkeitsreserven und Restsicherheiten zu erkennen und auszunutzen, sodass der Betrieb der Anlagen in möglichst großem Umfang erhalten bleiben kann. Die im Beitrag vorgestellten aktuellen Ergebnisse und Erfahrungen sollen eine Basis für die zukünftigen Beurteilungen bestehender Anlagen bilden.

Die Nachrechnungsrichtlinie für Kaimauern findet Erwähnung in der aktuellen Ausgabe der Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU 2020) und ist hiermit ein Bestandteil der anerkannten Regeln der Technik. Die Nachrechnungsrichtlinie soll einen Beitrag für die statische Beurteilung von Bestandsbauwerken nicht nur im Zuständigkeitsbereich der HPA leisten.

1. Einleitung

Die Nachrechnungsrichtlinie für Kaimauern wurde im Jahr 2019 von der Hamburg Port Authority AÖR (HPA) veröffentlicht und wird laufend aktualisiert. Die Nachrechnung der bestehenden Kaimauern im Zuständigkeitsbereich der HPA ist Teil eines Zustandsbewertungsprogramms, das zum einen aus einer Zustandsfeststellung mittels einer Bauwerksuntersuchung und zum anderen aus einer statischen Nachrechnung besteht. Die Kombination aus einer Bauwerksuntersuchung und einer statischen Betrachtung der Bauwerke soll eine fundierte Aussage über den konkreten Zustand der Anlagen und der zu erwartenden Betriebs- und Restlebensdauer ermöglichen.

Grundsätzlich gilt bei Bestandsbauwerken ein Bestandsschutz, d.h. es wird von einer Standsicherheit der Anlage gemäß Bestandsstatik ausgegangen, sofern keine Änderungen der

Lastsituation bestehen oder bauliche Veränderungen an der Anlage vorgenommen wurden. Zudem sollte das Bauwerk einen guten Bauwerkszustand ohne wesentliche Schäden aufweisen. Bei Kaimauern im Hamburger Hafen gibt es drei wesentliche Faktoren, die zu einer Änderung der Belastung des Bauwerks führen könnten. Offensichtlich gehen höhere Lasten aus dem Betrieb mit einer erhöhten Belastung der Anlage einher. Eine wichtige Rolle spielen zudem erhöhte Wasserdrücke: Die immer niedrigeren Wasserstände beim Niedrigwasser führen im Zusammenhang mit den Stauwasserständen hinter der Kaimauer zu einer deutlich erhöhten Belastung aus Wasserdruck. Außerdem kommt es immer häufiger zu Auskolkungen vor der Kaimauer, die je nach Ausdehnung das Erdwiderlager schwächen können. Auch eine Kombination aus diesen drei Faktoren ist denkbar und kann nach Vergleichsrechnungen zu einer Verdoppelung der Belastung der Kaimauer führen.

Es zeigt sich daher, dass der Bestandschutz bei einigen Bauwerken älteren Baujahrs schon aufgrund der Lastsituation nicht mehr gilt. Zudem werden an manchen Anlagen Schäden verschiedenen Ausmaßes beobachtet, die ebenfalls eine fundierte Betrachtung des Bauwerks notwendig machen. An dieser Stelle knüpft die Nachrechnung der Kaimauern gemäß Nachrechnungsrichtlinie an.

2. Nachrechnungsrichtlinie für Kaimauern

Im Laufe der Zeit haben sich typische Kaimauerquerschnitte im Hamburger Hafen etabliert, vgl. Abb. 1. Kaimauern, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts gebaut wurden, bestehen in der Regel aus einer auf Holzpfählen gelagerten Schwergewichtsmauer. Später haben sich Konstruktionen aus Stahlspundwänden mit einem Stahlbetonüberbau durchgesetzt, die in der Lage sind, große Geländesprünge abzufangen und hohe Nutzlasten abzutragen. Solche Konstruktionen sind zudem in der Regel rückverankert und der Überbau verfügt über eine zusätzliche Tiefgründung. Bei älteren Anlagen ist es zudem wichtig, eventuelle Umbaumaßnahmen zu berücksichtigen – z.B. der nachträgliche Einbau einer Sickerschürze oder einer zusätzlichen Verankerung.

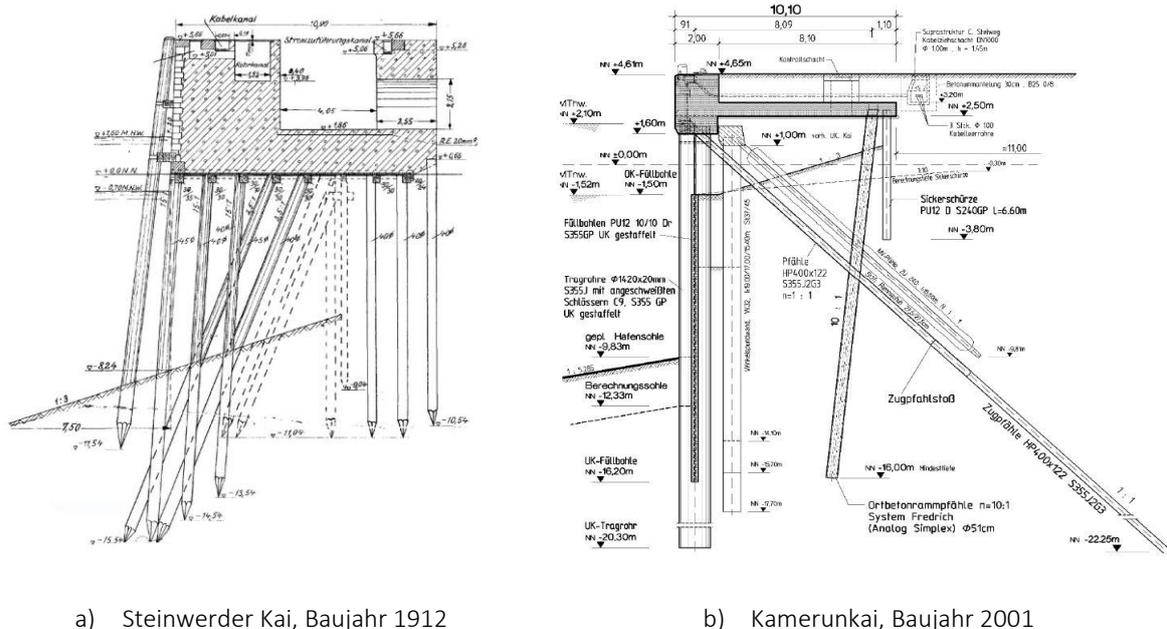


Abb. 1: Kaimauern im Hamburger Hafen

Aus den obigen Ausführungen wird ersichtlich, dass die Nachrechnung von Kaimauern keine triviale Aufgabe ist. Die Nachrechnungsrichtlinie hat das Ziel eine einheitliche Nachrechnung von Bestandskaimauern im Bereich des Hamburger Hafens zu ermöglichen. Um dieser Aufgabenstellung gerecht zu werden, wird die Nachrechnung in fünf Stufen gegliedert:

- Stufe 0: Berechnung nach Altstatik – schnelle Einschätzung, ob ein akuter Handlungsbedarf besteht.
- Stufe 1: Berechnung als fiktiver Neubau nach heutiger Normung, ohne Berücksichtigung von Schäden.
- Stufe 2: Nachrechnung der heutigen Situation nach aktueller Normung unter Berücksichtigung aktueller Schäden.
- Stufe 3: Berechnung mit Berücksichtigung von entlastenden Maßnahmen (z.B. Einschränkungen der Nutzlasten).
- Stufe 4: Anwendung weitergreifender Untersuchungsmethoden (z.B. numerischer Berechnungen oder wissenschaftlicher Ansätze).

Mit jeder Stufe wächst die Komplexität der Betrachtung. Es ist nicht erforderlich, alle Stufen nacheinander zur Anwendung kommen zu lassen. Erscheint z.B. eine Nachrechnung in den Stufen 1 und 2 nach Abschluss von Stufe 0 nicht erfolversprechend, kann die Nachrechnung direkt in Stufe 3 fortgesetzt werden. Vor jeder Stufe wird ein Lastenheft erstellt, das die Grundlagen der Berechnung sowie alle Angaben zur Konstruktion sowie zu den Randbedingungen und Belastungen enthält.

3. Stand der Nachrechnung und weiteres Vorgehen

Aktuell wird die Nachrechnung von 74 Anlagen im Hamburger Hafen gemäß Richtlinie in Stufe 0 durchgeführt und steht kurz vor dem Abschluss.

Die Berechnung in Stufe 0 wird in drei Schritten durchgeführt. In Stufe 0.1 wird zunächst eine Nachrechnung gemäß Altstatik vorgenommen. Dadurch sollen fehlerhafte Ansätze erkannt werden und die Bestandsstatik überprüft werden. In Stufe 0.2 werden die Nachweise mit aktualisierten Lasten und unter Berücksichtigung der Schäden gemäß dem Nachweiskonzept der Altstatik geführt. Für den Fall, dass Übertiefen zu berücksichtigen sind oder der Nachweis in Stufe 0.2 nicht gelingt, wird die Berechnung in Stufe 0.3 fortgesetzt. Das Ziel hierbei ist festzustellen, welche Belastung noch abgetragen werden kann und eine Empfehlung für weiteres Vorgehen abzugeben. Letzteres bildet den einen wesentlichen Punkt und kann weitreichende Folgen haben, z.B. für den Fall, dass die Anlagen gesperrt werden müssen oder die Nutzlasten wesentlich reduziert werden müssen.

Das Kernziel der Stufe 0 ist es, eine schnelle Einschätzung der Situation der Kaimauer zu ermöglichen, die lediglich auf Grundlage der Bestandsunterlagen durchgeführt wird. Je nach Ergebnis kann das weitere Vorgehen angepasst werden. In den weiteren Stufen der Nachrechnung sind in der Regel zusätzliche Baugrunduntersuchungen, Pegel oder Drucksondierungen erforderlich, die mit einem entsprechenden zeitlichen Aufwand einhergehen.

Die Ergebnisse aus der Nachrechnung werden in Anbetracht des Bauwerkszustandes bewertet und daraus ein Konzept für weiteres Vorgehen abgeleitet. Je nach Konstruktion können

verschiedene Bauwerkszustände beobachtet werden, von Kaimauern komplett ohne Schäden bis hin zu tragfähigkeitsrelevanten Schadensbildern. Bei Betonüberbauten stellen Abplatzungen und freiliegende Bewehrung ggf. im Zusammenhang mit Querschnittsverlusten ein wichtiges Schadensbild dar, vgl. Abb. 1.



Abb. 2: Beispiel für Betonabplatzungen und freiliegende Bewehrung

Stahlpundwände sind häufig betroffen von Korrosion im unterschiedlichen Ausmaß, s. Abb. 3.

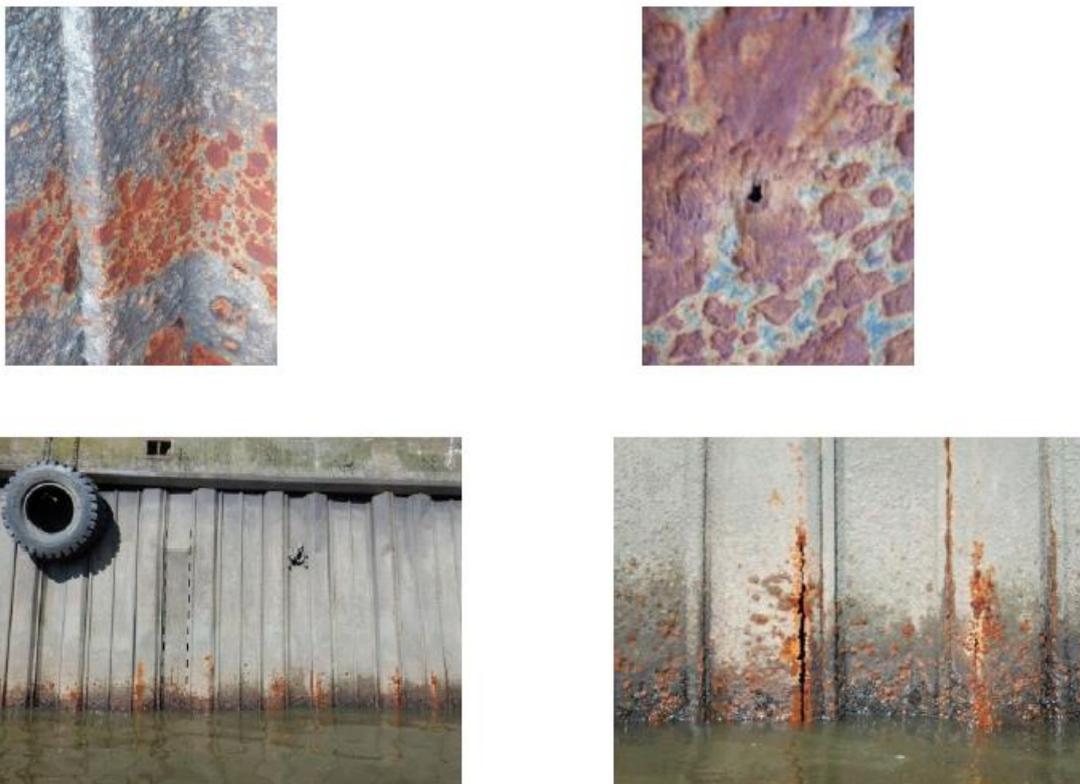


Abb. 3: Beispiele für Abrostungen an Spundwänden

In seltenen Fällen sind durch Havarien verursachte Schäden zu erkennen, die maßgebend für die Standsicherheit der Kaimauer sein können, s. Abb. 4.



Abb. 4: Stark verformte Spundwand mit gerissenen Bohlen

Nach bisherigen Erkenntnissen sind folgende Gruppen von Anlagen zu unterscheiden:

- Kaimauern, bei denen ein sofortiger Handlungsbedarf besteht:

Hierbei handelt es sich meist um ältere Konstruktionen, bei denen erhebliche Schäden (z.B. Ab- und Durchrostungen, Abreißen von Anschlüssen von Ankern, Pfählen oder anderen Bauteilen, Schlosssprengungen, usw.) und/oder erhebliche Verformungen festgestellt wurden. Unter Umständen sind sogar Teile der Anlagen havariert und mussten gesichert werden. Meist sind in der Statik verwendeten Lastannahmen aus heutiger Sicht bei Weitem nicht ausreichend oder es liegen keine Unterlagen zur Statik vor. In dieser Fallgruppe stellt sich grundsätzlich die Frage der Sperrung der Anlage. Es ist daher zu ermitteln, welcher Bereich hinter der Kaimauer zu sperren ist. In Einzelfällen kann auch lediglich eine Reduzierung der Nutzlasten zielführend sein. In weiteren Schritten gilt es zu klären, ob eine Sanierung der Anlage möglich ist oder ein Neubau infrage kommt. Bis weitere Maßnahmen ergriffen werden können, soll eine messtechnische Überwachung erfolgen, um ein eventuell sich ankündigendes Versagen zu erkennen.

- Kaimauern, bei denen der rechnerische Nachweis nicht erbracht werden kann:

Bei einigen Kaimauern ist die Situation nicht so eindeutig wie in der ersten Gruppe. Ein rechnerischer Nachweis ist zwar nicht möglich, aber diese Anlagen weisen ein dem Alter entsprechendes Schadensbild auf, das nicht für eine akute Gefährdung der Standsicherheit spricht. In solchen Fällen ist zunächst eine messtechnische Überwachung erforderlich, um eine mögliche Zunahme von Verformungen zu erkennen. Eine Sperrung der Anlagen ist nicht zwingend erforderlich und kann lediglich in Einzelfällen abgewogen werden. Eine Nachrechnung in den weiteren Stufen der Kaimauernachrechnungsrichtlinie ist erforderlich.

- Kaimauern, bei denen rechnerisch kein Nachweis möglich ist, aber eindeutige Reserven vorhanden sind:

In dieser Gruppe von Anlagen sind ersichtliche Gründe vorhanden, warum die Standsicherheit der Kaimauer trotz des negativen Ergebnisses der Nachrechnung gegeben ist, z.B. eine erhebliche Ausbaureserve bei dem Ansatz der Berechnungssohle bei einem verhältnismäßig geringen Alter der Anlage. Hierbei besteht kein Handlungsbedarf und

die Nachrechnung kann in den weiteren Stufen der Nachrechnungsrichtlinie fortgeführt werden.

- Kaimauern, die ohne Weiteres nachzuweisen sind.

Aktuell werden alle Anlagen bewertet und es werden der Umfang und die Dringlichkeit der weiteren Bearbeitung festgelegt. Für die Bearbeitung der Kaimauern in den Stufen 1 bis 4 sind in einigen Fällen Baugrundaufschlüsse und Pegelsetzung erforderlich, um fundierte Angaben über den Baugrund und die landseitigen Wasserstände zu bekommen. Drucksondierung im Erdwiderlagerbereich sind aufgrund zugeschlickter Kolke auch empfehlenswert. Sollten bauliche Maßnahmen erforderlich sein, ist zunächst eine Machbarkeits- und Variantenuntersuchung zu erstellen.

Ein großes Potenzial für die Erfassung des tatsächlichen Tragverhaltens bieten numerische Simulationen mit der Finite-Elemente-Methode. Hierzu sind bereits erste Untersuchungen zur Ursachenfindung von aufgetretenen Schadensbilder erfolgt. Ein Vergleich der aufgetretenen und berechneten Verformungen zeigte eine sehr gute Übereinstimmung. Die FE-Modelle können zukünftig auch zur Untersuchung möglicher Sanierungsvarianten zum Einsatz kommen. An dieser Stelle ist noch anzumerken, dass für die Modellierung eine umfangreiche Ermittlung der Bodenparameter notwendig ist

4. Zusammenfassung

Das aktuell im Hamburger Hafen laufende Zustandsbewertungsprogramm für Kaimauern ist ein umfangreiches Projekt, welches das Ziel hat, eine einheitliche Bewertung der Kaimauern zu ermöglichen. Es liegen bereits einige Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung und der statischen Nachrechnung in Stufe 0 vor, die es erlauben, die für den Erhalt der Anlage erforderlichen Maßnahmen in der Zukunft zu planen.



Ostrmole in Stralsund (Deutschland) | © HANSESTADT Stralsund

Reduzieren Sie die Umweltauswirkungen Ihrer Projekte mit **EcoSheetPile™ Plus** Stahlspundwänden.

Diese werden aus 100% recyceltem Stahl und zusätzlich unter ausschließlicher Verwendung von zertifiziertem Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt. Hervorzuheben ist, dass bei der Herstellung der **EcoSheetPile™ Plus** Stahlspundwände bis zu 61% weniger Treibhausgase emittiert werden, als bei herkömmlichen Stählen.



XCarb®

Recycelt und
erneuerbar hergestellt



Planung und Visualisierung der Erhöhung des innerstädtischen Cranzer und Neuenfelder Hauptdeiches

Pia Pinkenburg, M.Sc., WKC Hamburg GmbH
Friederike Wulff, M.Sc., WKC Hamburg GmbH

Der Cranzer und der Neuenfelder Hauptdeich sollen auf einer Länge von rund 3 km erhöht werden. Die Deicherhöhung erfolgt im Spannungsfeld zwischen dem geschützten Tideauwald auf der Außenseite und der angrenzenden Landwirtschaft sowie Gewerbe- und Wohnbebauung auf der Binnenseite. Dies bedingt eine binnenseitige Verbreiterung des Deichquerschnittes, sodass die Deichverteidigungsstraße und die wasserwirtschaftlichen Einrichtungen samt dem Siel- und Schöpfwerk in Neuenfelde ertüchtigt werden müssen.

Im Zuge der Planung galt es unter anderem die interdisziplinären Randbedingungen des Hochwasserschutzes, der Landwirtschaft, der Verkehrsinfrastruktur und des Naturschutzes zu berücksichtigen. Dies stellte eine wesentliche Herausforderung dar, welche unter anderem Auswirkungen auf die Planung des Bauablaufes hatte. Mit Hilfe von 3D-Modellen des Bestandes und der Planung wurde der Bauablauf visualisiert und Kollisionsprüfungen durchgeführt. Projektbegleitend wurde zusätzlich eine GIS-Datenbank mit projektrelevanten Bestandsinformationen wie z.B. der Deichkilometrierung und Katasterinformationen erstellt.

1. Einleitung

Der Schutz vor Sturmfluten ist für die Hansestadt Hamburg von herausragender Bedeutung. Aufgrund der fortschreitenden Klimaänderung steigt der Meeresspiegel und damit einhergehend auch die Höhe der Sturmflutscheitelwasserstände an. Die Stadt Hamburg arbeitet daher an der Verstärkung der öffentlichen Hochwasserschutzanlagen. Deren Planung ist vor allem im innerstädtischen Bereich vor große Herausforderungen gestellt.

Im Jahr 2012 wurden vom Hamburger Senat neue Bemessungswasserstände für die Hamburger Deichlinie beschlossen. Diese beinhalten einen Klimazuschlag und bilden die Grundlage für das Erhöhungsprogramm zur Ertüchtigung der Hochwasserschutzanlagen in Hamburg.

Infolgedessen müssen auch der Cranzer und der Neuenfelder Hauptdeich auf einer Länge von insgesamt 3,2 km erhöht werden (s. Abb.1). Für die zu erwartenden Bemessungswasserstände von +7,85 m NHN am Cranzer und +7,90 m NHN am Neuenfelder Hauptdeich ist eine Sollhöhe von +9,10 m NHN anzusetzen. Für die Deiche im Projektgebiet bedeutet dies eine Erhöhung zwischen 30 cm und 70 cm.

Bei der Planung waren die unterschiedlichen Belange der Anwohner, der Verkehrsinfrastruktur, des Naturschutzes sowie des traditionellen Obstanbaus im Planungsgebiet zu berücksichtigen. Die Erhöhung erfolgt daher im Spannungsfeld dieser Interessen.



Abb. 1: Cranzer Hauptdeich

2. Planungsgebiet

Das Planungsgebiet liegt im Bereich der Ortsteile Cranz und Neuenfelde des Bezirks Hamburg-Harburg im Westen der Hansestadt. Der Neuenfelder Hauptdeich erstreckt sich westlich des Betriebsgeländes von Airbus bis zum Sperrwerk Estemündung über ca. 1,7 km. Der ca. 1,5 km lange Cranzer Hauptdeich schließt westlich des Sperrwerks Estemündung an und reicht bis zur Landesgrenze nach Niedersachsen. Nördlich des Deiches schließt die Elbe mit dem Mühlenberger Loch an. Das Mühlenberger Loch ist Naturschutzgebiet, FFH- und Vogelschutzgebiet und damit Bestandteil des europäischen Schutzgebiets „NATURA 2000“. Die südlich des Deiches gelegenen Deichverteidigungsstraßen „Neuenfelder Hauptdeich“ und „Cranzer Hauptdeich“ sind vielbefahrene öffentliche Straßen. Südlich der binnenseitigen Deichgrundgrenze befinden sich landwirtschaftlich genutzte Privatflächen sowie vereinzelte Gewerbeflächen. Am Neuenfelder Hauptdeich ist ein Siel- und Schöpfwerk zur Entwässerung des Hinterlandes im Deichkörper integriert. Im westlichen Bereich bis zur Landesgrenze zu Niedersachsen befindet sich Einzelhausbebauung unmittelbar an der Straße Cranzer Hauptdeich (siehe Abb.2).

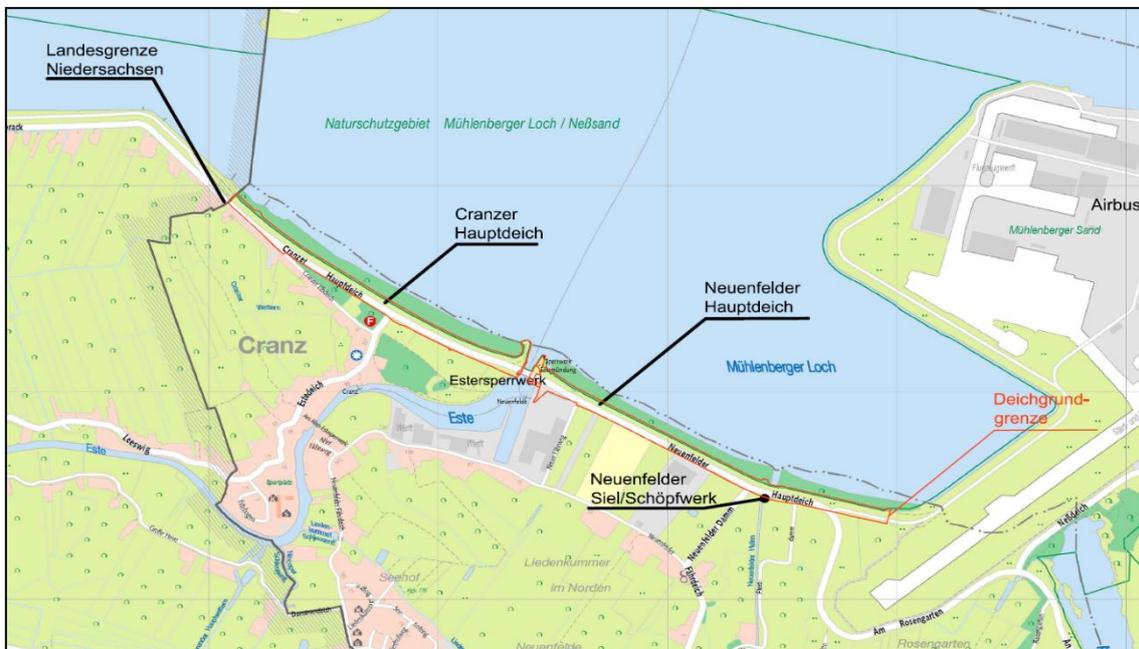


Abb. 2: Lage des Planungsgebiets

3. Herausforderungen

Die besondere Herausforderung besteht in den durch das FFH-Gebiet auf der Außenseite und den Privatbesitzen (Obstanbauregion, Bebauung) auf der Binnenseite begrenzten Platzverhältnissen und bewirken Anforderungen analog einer innerstädtischen Deicherhöhung. Es ergeben sich Restriktionen, welche die Planungsleistung sowie die Bauausführung erschweren (s. Abb. 3).

Die Erhöhung der Deiche hat eine Verbreiterung der Deichquerschnitte zur Folge, wobei ein Eingriff in den Außendeichs liegenden Tideauwald und das Mühlenberger Loch nicht mit den Zielen des Naturschutzes verträglich ist. Daher müssen sowohl der Cranzer und als auch der Neuenfelder Hauptdeich binnenseitig verbreitert werden, gleichzeitig jedoch die Auswirkung auf die Wohnbebauung sowie auf die Industrie- und landwirtschaftliche Flächen minimal gehalten werden.

Das Planungsgebiet grenzt zudem an das Alte Land, welches für seine Obstbauflächen überregional bekannt ist. Gleichwohl dient das Gebiet der Naherholung und wird von vielen Touristen besucht. Die Deichverteidigungsstraßen sind vielbefahrene Hauptverkehrsstraßen und werden zusätzlich für Schwerlasttransporte des nahegelegenen Airbuswerkes genutzt, sodass die Verkehrsführung während der Bauzeit nur gering eingeschränkt werden sollte. Weiterhin ist der Deich so zu planen, dass zukünftige Deicherhöhungen möglich sind.



Abb. 3: Planungsgrenzen der Ertüchtigungsmaßnahme des Cranzer und des Neuenfelder Hauptdeiches (Restriktionen der Planung und Ausführung)

Infolge der binnenseitigen Verbreiterung der Deiche ergibt sich die Notwendigkeit, alle zum Hochwasserschutz gehörenden Anlagen, wie die dem öffentlichen Verkehr gewidmeten Deichverteidigungsstraßen, die Entwässerungseinrichtungen (z.B. Deichdrainagen, Binnendeichgraben) und das Siel- und Schöpfwerk in Neuenfelde, anzupassen. Somit ergeben sich neben dem Hauptprojekt der Deichertüchtigung mehrere Teilprojekte. Die Koordination dieser Teilprojekte und die Gewährleistung einer konfliktfreien Planung stellten weitere Herausforderungen dar.

4. Planung

Das Projekt der Ertüchtigung des Cranzer und Neuenfelder Hauptdeiches lässt sich in verschiedene Teilprojekte gliedern, welche bei der Planung zu berücksichtigen waren und im Folgenden näher erläutert werden.

Projektaufgabe –Hochwasserschutzanlage

Die Bestandsdeiche sind Gründeiche mit Kleiabdeckung und Sandkern und sollen als solche im Zuge der Ertüchtigungsmaßnahme erhalten werden.

Die Deicherhöhung auf eine Sollhöhe von +9,10 m NHN bedingt die binnenseitige Verbreiterung der Deichquerschnitte (s. Abb. 4). Eine Flächeninanspruchnahme der südlichen landwirtschaftlichen und gewerblichen Flächen sowie der angrenzenden Flächen zur Wohnbebauung kann aufgrund der Regelbauweise des Leitfadens für Planung im Hamburger Hochwasserschutz in

Sonderbereichen nur unter Verwendung von Geländesprüngen und damit einhergehendem Einsatz von Einbauten reduziert werden. Der Einbau konstruktiver Elemente im Deichkörper ist jedoch im Sinne des Hochwasserschutzes auf ein Minimum zu beschränken.

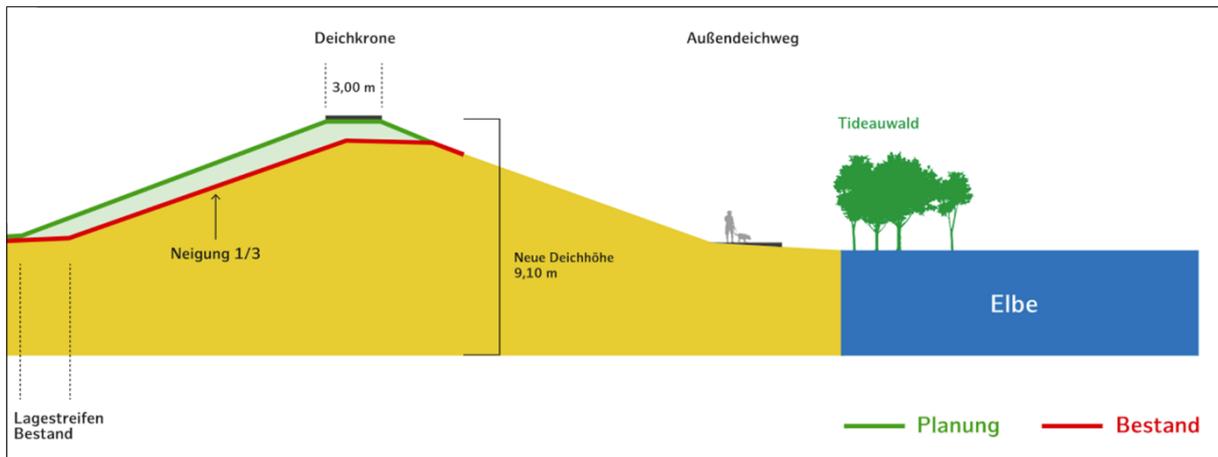


Abb. 4: Systemquerschnitt des geplanten Deichkörpers (www.hochwasserschutz-cnh.de)

Der westliche Teil des Cranzer Hauptdeiches, an der Grenze zu Niedersachsen, ist im Bestand als Vollkleideich ausgebildet und soll im Zuge der Ertüchtigung ebenfalls als Gründeich mit Kleiabdeckung und Sandkern umgebaut werden. Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse kann dieser Deichabschnitt selbst unter Berücksichtigung konstruktiver Elemente nicht vollständig binnenseitig ertüchtigt werden. Daher wird der Cranzer Hauptdeich für einen Abschnitt von rund 280 m geringfügig auch nach außen, innerhalb der Deichgrundgrenze, ausgebaut. Hierfür werden keine Flächen des geschützten FFH-Gebietes in Anspruch genommen.

Die Vorlandangleichung und die Außendeichwege werden zu großen Teilen beibehalten und nur in Sonderbereichen angepasst. Das vorhandene Deckwerk aus mächtigen Betonsetzsteinen auf der Außenböschung der Deiche wird zum Schutz vor Anprall von Totholz aus dem wasserseitig vorgelagerten Tideauwald erhöht. Der Deichkronenweg wird befestigt und kann somit für touristische Zwecke ohne Beschädigung der Deichkrone genutzt werden. Die Binnendeichböschung wird in Sonderbereichen, in denen diese aufgrund der beengten Platzverhältnisse steiler hergestellt werden muss, mit einer Pflasterung befestigt. Zusätzlich wird die Binnenböschung in Bereichen von Deichüberfahrten (Deichrampen), welche zu Unterhaltungs- und Verteidigungszwecken dienen, befestigt. Die Deichtreppen sind aufgrund der Erhöhung ebenfalls anzupassen.

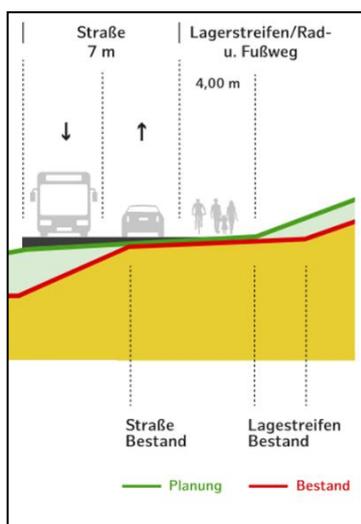


Abb. 5: geplanter Straßenquerschnitt (www.hochwasserschutz-cnh.de)

Projektaufgabe – Verkehrsplanung und Straßenbau

Die Deichverteidigungsstraßen müssen aufgrund der binnenseitigen Verbreiterung der Deiche in Richtung Süden verlagert werden, sodass ein kompletter Neuaufbau erforderlich wird (s. Abb. 5).

Aufgrund der hohen Verkehrsdichte sowie dem großen Anteil an LKW, Linienbussen und Zulieferfahrzeugen für Airbus wurde ein breiterer Straßenquerschnitt gewählt und die Straßen in Teilbereichen dreispurig geplant. Knotenpunkte werden signalisiert und ein Kreisell errichtet, um den Verkehrsfluss zu optimieren.

Der geplante Lagerstreifen dient im Allgemeinen zu Verteidigungszwecken im Hochwasserfall, soll jedoch im Normalbetrieb als gemeinsamer gegenläufiger Geh- und Radweg genutzt werden.

Projektaufgabe – Wasserwirtschaftliche Einrichtungen

Im Zuge der Ertüchtigungsmaßnahme am Cranzer und am Neuenfelder Hauptdeich wird der Umbau der wasserwirtschaftlichen Einrichtungen erforderlich.

Die Deichdränage zur Deichkernentwässerung ist zu erneuern und wird unterhalb des Lagerstreifens verlegt. Die Dränage entwässert direkt in den Binnendeichgraben. In regelmäßigen Abständen werden Entwässerungs- und Revisionssschächten vorgesehen.

Die Entwässerung des anfallenden Straßenoberflächenwassers erfolgt aufgrund der Querneigung direkt über das Bankett und die Böschung in den Binnendeichgraben. In Sonderbereichen werden die Straßenwässer in Straßenabläufen mit integrierter Reinigungsfunktion gesammelt und anschließend in den Deichgraben geführt.

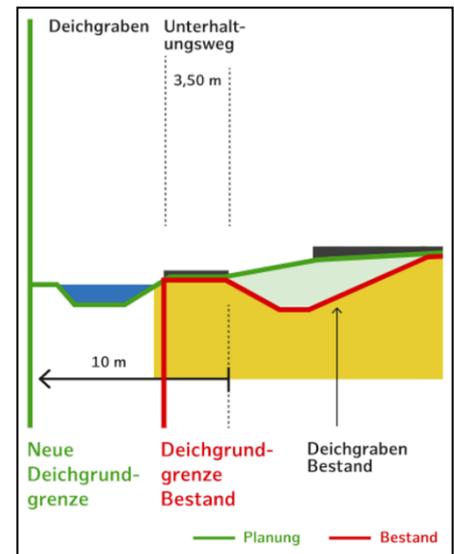


Abb. 6: geplanter Grabenquerschnitt www.hochwasserschutz-cnh.de

Der Binnendeichgraben wird parallel entlang der Deichverteidigungsstraße verlaufen und dient zur Fassung des anfallenden Wassers aus Niederschlag, den Deichdränagen, der Straßenentwässerung sowie der Hinterlandentwässerung und dem Wellenüberlauf (s. Abb. 6). Der Deichgraben muss daher auch für ein Hochwasserereignis ausreichend groß dimensioniert sein. Das Neuenfelder Schleusenfleet und die Este dienen als Vorfluter des Binnendeichgrabens. Zwischen Deichgraben und Deichverteidigungsstraße wird ein Unterhaltungsweg hergestellt, um den Graben und dessen Böschung unterhalten zu können.

Projektaufgabe – Siel- und Schöpfwerk

Das Siel- und Schöpfwerk im Neuenfelder Hauptdeich dient der Entwässerung des Hinterlandes. Durch die Deicherhöhung wird eine Anpassung erforderlich. Zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes in Form einer doppelten Deichsicherheit sind alle Verschlussorgane zu erneuern und der Siel- und Druckstollen instand zu setzen. Die Schützhäuser inkl. der technischen Ausrüstung und das Schöpfwerksgebäude werden in Teilen umgebaut.

5. Bauablauf

Der geplante Bauablauf sieht eine Bauzeit von drei Jahren vor. Es soll gleichzeitig am Cranzer und am Neuenfelder Hauptdeich gebaut werden, sodass bauzeitlich erforderliche verkehrliche Einschränkungen möglichst geringgehalten werden können. Während der gesamten Bauzeit ist der Hochwasserschutz zu gewährleisten, wobei die Arbeiten am Deichkörper vorrangig in der sturmflutfreien Zeit zwischen April und September durchgeführt werden sollen.

Vor Baubeginn sieht die bisherige Bauablaufplanung eine Kampfmittelsondierung und -freigabe bestehender Verdachtsflächen vor.

Im ersten Baujahr sollen die Arbeiten an der Außendeichböschung beginnen und der neue Binnendeichgraben hergestellt werden. Weiterhin erfolgt der Bau eines temporären Auflastkörpers mit Vertikaldränagen im Bereich des späteren Straßenquerschnittes oberhalb des verfüllten Bestandsgrabens. Der Auflastkörper dient zur Vorwegnahme bzw. Beschleunigung von Setzungen. Die derzeitige Planung sieht vor, dass dieser über die folgende Sturmflutzeit bestehen bleiben soll.

Im zweiten Baujahr sieht die Planung vor, den Auflastkörper teilweise zurückzubauen, sodass auf diesem eine Behelfsstraße zur temporären Verkehrsführung errichtet werden kann. Anschließend erfolgt der Umbau der Deichdränage sowie die Herstellung des Lagerstreifens und der Deichverteidigungsstraße, sodass die Verkehre nun auf der neuen Straße geführt werden können. Im dritten Baujahr finden die wesentlichen Arbeiten am Deichkörper statt.

Aufgrund geringer Kapazitäten von Bodenlagerflächen ist es erforderlich, Bodenmaterial zwischen den Bereichen Cranz und Neuenfelde je nach lokaler Notwendigkeit zu transportieren. Damit können Synergieeffekte für das Bodenmanagement erzielt werden. Während der Bauausführung ist die räumliche Nähe zu den Schutzgebieten zu beachten. Daher sind die Lärm- und Staubentwicklung, auch im Sinne der Anwohner, zu reduzieren. Beides wurde in entsprechenden Gutachten untersucht und in der Bilanzierung für Ausgleichsmaßnahmen berücksichtigt. Während der Ausführung ist die Verkehrsführung für die Anwohner sowie die Airbustransporte so weit wie möglich aufrecht zu erhalten. Im Winterhalbjahr (Sturmflutzeit) kann der Verkehr über die Deichverteidigungsstraßen uneingeschränkt verlaufen. In den Sommermonaten kann, mit Ausnahme kurzzeitiger Unterbrechungen, ein einspuriger Verkehr aufrechterhalten werden. Es sind temporäre Straßen im Baufeld sowie eine kleinräumige und großräumige Umleitung geplant.

6. Visualisierung der Planung

Die Visualisierung der Planung zur Ertüchtigung des Cranzer und des Neuenfelder Hauptdeiches war hilfreich, um die einzelnen Teilprojekte miteinander verknüpfen zu können. Gerade in Sonderbereichen (z.B. im Bereich des Siel- und Schöpfwerkes Neuenfelde) zeigten sich mögliche Kollisionen einzelner Bauteile, welche zeitnah behoben bzw. umgeplant werden konnten. Die Visualisierung des Bauablaufes wurde genutzt, um zeitliche und logistische Konflikte zu erkennen. Dies ist gerade bei Linienbauwerken wie dem Deich, der Deichverteidigungsstraße oder dem Binnendeichgraben vorteilhaft. Weiterhin kann die Visualisierung einer geplanten Baumaßnahme in der Ermittlung von Massen und Kosten unterstützen und lässt somit genauere Aussagen zum Bauvolumen zu.

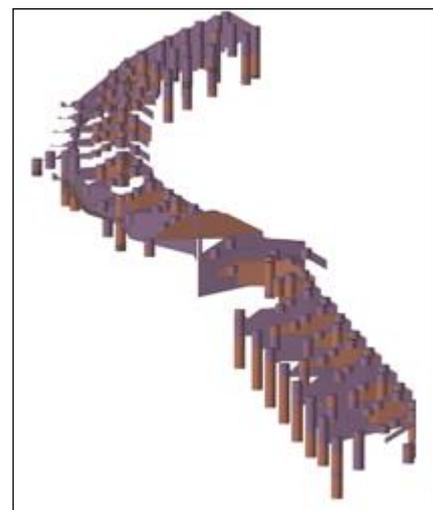


Abb. 7: Baugrundmodell

Baugrund

In mehreren Bohrkampagnen wurden im Bereich der Deichkörper, der Deichverteidigungsstraßen, der Binnendeichgräben und der angrenzenden Privatflächen Baugrunderkenntnisse gewonnen. Die Erkundungen im Bereich der Deiche wurden in einem Baugrundmodell zusammengestellt, sodass die Schichtverläufe und z.B. die Mächtigkeit der Kleiabdeckung im Bestand dargestellt und überprüft werden konnte. Das Baugrundmodell wurde mit dem „Subsurface Viewer“ von der Firma Insight erstellt, indem die Bohrprofile linear miteinander verbunden wurden (s. Abb. 7).

Deich

Für die Deichkörper sowie die Deichverteidigungsstraßen und die Grabensysteme wurde anhand der Bestandsvermessung und des erzeugten Baugrundmodells ein digitales dreidimensionales Geländemodell mit Civil-3D (Autodesk) erstellt (s. Abb. 8). Das digitale Geländemodell wurde im Weiteren für die Erstellung der Bestandsquerschnitte verwendet, welches sich im Zuge der Planung als vorteilhaft herausstellte, da die Planungsschnitte zeitsparend und an jeder Stelle des Deiches erzeugt werden konnten. In Sonderbereichen, wie am Siel- und Schöpfwerk Neuenfelde, mussten zusätzliche Querschnitte erzeugt werden, um die gegebenen Randbedingungen und die damit einhergehenden Besonderheiten (z.B. Stützwände) darstellen zu können.

Projektbegleitend wurde eine GIS-Datenbank mittels den Programmen ArcGIS (ESRI) und QGIS (QGIS Development Team) aufgebaut (s. Abb. 8), welche alle projektrelevanten Bestandsinformationen wie beispielsweise die Deichkilometrierung, Angabe zu den Schutzgebieten, Katasterinformationen, Pläne der Regelprofile, Auskünfte zu den Leitungen sowie die aktuellsten Planungsunterlagen der jeweiligen Leistungsphase enthält. Die GIS-Datenbank wurde anschließend in eine Webmap integriert, sodass diese online über einen beliebigen Browser und somit ohne spezielle Programme abrufbar ist. Die GIS-Datenbank soll zukünftig für die Bauüberwachung und Bauoberleitung genutzt werden, da sämtliche Daten übersichtlich zusammengestellt sind und vor Ort auf der Baustelle flexibel eingesehen werden können.



Abb. 8: links: digitales Geländemodell des Neuenfelder Hauptdeiches, rechts: GIS-Datenbank

Siel- und Schöpfwerk

Im Rahmen der Bestandsvermessung wurde ebenfalls das Siel- und Schöpfwerk Neuenfelde digital erfasst. Mit Hilfe einer zusätzlichen Drohnenbefliegung und eines terrestrischen Laserscans der Innenräume wurden neben den Deichen auch der Bestand des Siel- und Schöpfwerkes als Punktwolke aufgenommen (s. Abb. 9), sodass die gewonnenen dreidimensionalen Koordinaten zur Erstellung eines objektbasierten 3D-Modells verwendet werden konnten. Hierbei werden den einzelnen Objekten (Bauteilen) projektrelevante Informationen (z.B. Material,

Abmessungen) zugeteilt. Mit den Autodesk-Programmen Revit und Inventor wurde neben dem Bestandsmodell auch ein Planungsmodell entwickelt (s. Abb. 9).



Abb. 9: oben: Ausschnitt aus der Punktwolke im Bereich des Siele- und Schöpfwerkes Neuenfelde, unten: 3D-Modell der Planung des Siele- und Schöpfwerkes Neuenfelde

Bauablauf

Die verschiedenen erzeugten Modelle wurden auch zur Visualisierung des Bauablaufes verwendet. Im Programm Navisworks (Autodesk) wurden diese zusammengefügt und in einen zeitlichen Zusammenhang gestellt. Mit Hilfe dessen wurde eine Bauablaufsimulation erzeugt (s. Abb. 10), mit welcher der bereits geplante Bauablauf überprüft werden konnte und eine Kollisionsprüfung erfolgte. Die Simulation kann außerdem für zukünftige Projektvorstellungen in Öffentlichkeitsveranstaltungen genutzt werden, um beispielsweise ein Verständnis für die bauzeitliche Verkehrsführung bei Anliegern zu schaffen.

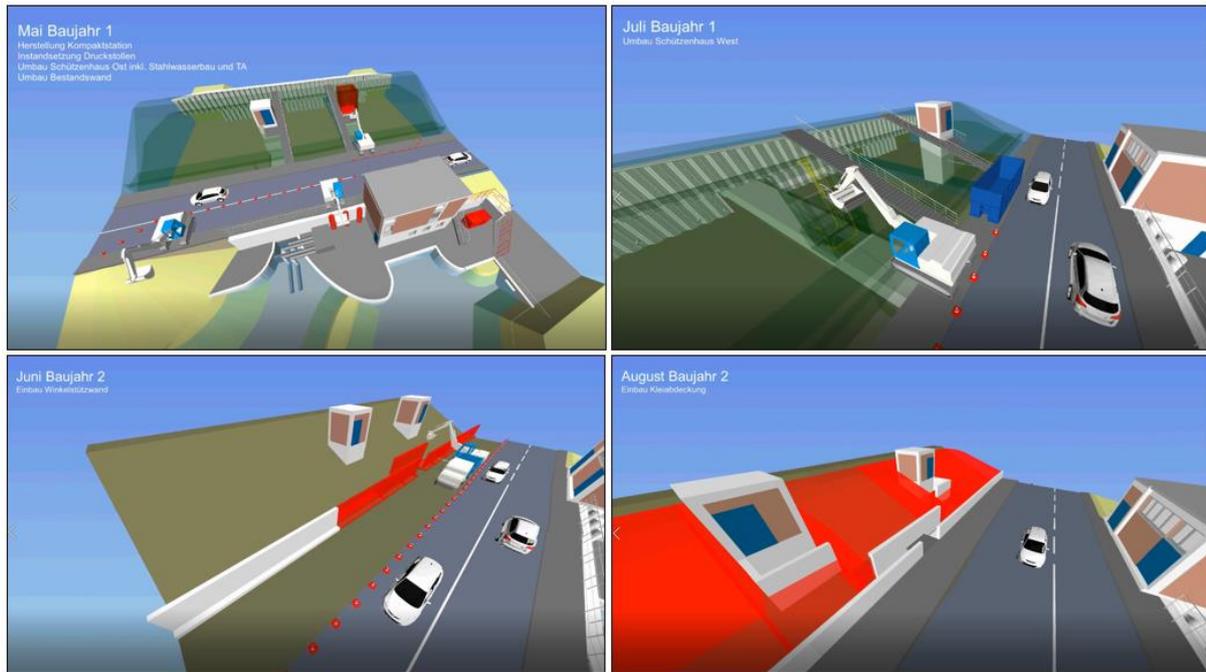


Abb. 10: Bauablaufsimulation der Planung Siel- und Schöpfwerk Neuenfelde mit Navisworks

7. Zusammenfassung

Die Planung der Ertüchtigungsmaßnahme des innerstädtischen Cranzer und Neuenfelder Hauptdeiches war aufgrund mehrerer vorliegender Teilprojekte und der Berücksichtigung interdisziplinärer Randbedingungen des Hochwasserschutzes, der Landwirtschaft sowie des Straßenverkehrs und Naturschutzes vor große Herausforderungen gestellt.

Die Visualisierung der gewonnenen Baugrunderkenntnisse in einem Baugrundmodell, die Erstellung eines digitalen Geländemodells anhand der Bestandsvermessung und einer zusätzlichen Drohnenbefliegung sowie die dreidimensionale Simulation unterstützten während der Planung die Erstellung des Bauablaufes der komplexen Maßnahme.

Die Zusammenführung und Verknüpfung aller Projektinformationen führten zu einer verbesserten Qualität der Unterlagen, da dadurch alle Daten aufeinander abgestimmt und jederzeit einsehbar waren. Es ermöglichte einen verbesserten Informationsaustausch zwischen den Planungsbeteiligten und eine kontinuierliche Datenaufbereitung während des gesamten Planungszyklus.

Vor allem in Sonderbereichen (z.B. am Siel- und Schöpfwerk Neuenfelde) war dies hilfreich, um Kollisionsprüfungen durchführen und Konflikten im Bauablauf vorbeugen zu können.

Der Ölhavarie-Vorsorgezustand an der deutschen Ostseeküste ist besorgniserregend

Swantje Steffen, B. Sc., Agrar- und Umweltwissenschaftliche
Fakultät Rostock, Geotechnik und Küstenwasserbau

Der Transport von Waren, darunter Erdöl, wird hauptsächlich über den Seeweg getätigt. Mit dem zunehmenden Seeverkehr und größeren Treibstoffbunkern der Frachtschiffe, aber auch Tankern steigt das Risiko für eine Ölhavarie. Im Fall einer Ölhavarie ist für die Bekämpfung Zeit ein wichtiger Faktor und deshalb ist eine gute Vorsorgeplanung wichtig. In Deutschland ist die favorisierte Methode die mechanische Ölbekämpfung. Darunter ist die Wiederaufnahme des ausgetretenen Öls zu verstehen. Um zu planen, wie viel Öl mit einem Ölbekämpfungsschiff aufgenommen werden kann, gibt es verschiedene Berechnungsansätze. Zwei davon sind der EDRC- und der ERSP-Rechner. Der ERSP-Rechner wurde entwickelt, nachdem bei der Deepwater Horizon Ölhavarie 2010 festgestellt wurde, dass die Werte des EDRC-Rechners nicht erreicht werden konnten. Diese beiden Berechnungsansätze wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit verglichen. Außerdem wurde die Eignung des ERSP-Rechners für die deutsche Ostseeküste und der Vorsorgezustand an der deutschen Ostseeküste bewertet. Dafür wurden die Werte für die an der deutschen Ostseeküste stationierten Ölbekämpfungsschiffe mit den beiden Berechnungsmethoden ermittelt.

Bei dem Vergleich der beiden Rechenmethoden zeigt sich, dass die Werte, die mit dem ERSP-Rechner berechnet werden, weit unter den mit dem EDRC-Rechner berechneten Werten liegen. Aus den Berechnungen mit dem ERSP-Rechner lassen sich Aussagen für die Effektivität mechanischer Ölbekämpfung ableiten, die auf die Ostsee angewandt werden können. Durch die Auswertung der Werte lassen sich die folgenden drei Beobachtungen ableiten: Die Räumbreite, Tankkapazität und Aufnahmeleistung müssen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen, bei der Ölaufnahme der Ölbekämpfungsschiffe beträgt der Wasseranteil mindestens 50% und durchschnittlich wird mehr Zeit mit dem Leichtern als mit der Ölaufnahme verbracht. Diese drei Punkte sind maßgeblich in die Bewertung des Vorsorgezustand eingeflossen. Dieser und die Anwendung des ERSP-Rechners auf die Ostsee werden am Ende diskutiert.

1. Einleitung

Der weltweite Transport von Waren, darunter auch Erdöl, wird hauptsächlich über den Seeweg getätigt (United Nations conference on trade and development (UNCTAD), 2017). Wenn ein Schiff havariert und eine größere Ölmenge austritt, kann dies zu großen ökologischen und wirtschaftlichen Schäden führen. An der deutschen Ostseeküste ist aufgrund der hohen Verkehrsdichte (HELCOM, 2018) und der besonderen ökologischen Bedeutung der Ostsee (Nausch, 2005) das Risiko für eine Ölhavarie hoch. Um im Falle einer Ölhavarie den Schaden möglichst gering halten zu können, gibt es verschiedene Bekämpfungsmaßnahmen und Berechnungsmethoden, um die Effektivität dieser zu bewerten. Die geläufigsten Bekämpfungsmethoden, die verwendet werden, sind chemikalische Bekämpfung, Verbrennung des Öls auf der Wasseroberfläche sowie mechanische Bekämpfungsmethoden, bei denen das ausgelaufene Öl eingegrenzt und wieder aufgenommen wird. In Deutschland wird der Schwerpunkt auf die mechanische Ölbekämpfung gelegt (VPS Bekämpfungshandbuch, 2019). Um zu planen, welches Equipment

(z. B. Ölbekämpfungsschiffe) im Fall einer Ölhavarie vorhanden sein muss, gibt es verschiedene Berechnungsmethoden. Zwei sehr Bekannte sind der „Effective Daily Recovery Capacity“ (EDRC) und „Effective Recovery System Potential“ (ERSP) Rechner. Beide Rechner berechnen die potentielle Menge an Öl, die ein Ölbekämpfungsschiff voraussichtlich aufnehmen kann. Der EDRC-Rechner wurde im Jahr 1989 nach der Havarie der Exxon Valdez entwickelt und basiert auf der technisch möglichen Aufnahmerate eines Ölbekämpfungsschiffes, die um einen pauschalen Prozentsatz verringert wird. Durch die Verringerung der Aufnahmerate sollen die verschiedenen Faktoren, die die Ölaufnahme beeinflussen, berücksichtigt werden. Der ERSP-Rechner wurde vom Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE) nach der Deepwater Horizon Ölhavarie 2010 entwickelt, nachdem beim Deepwater Horizon festgestellt wurde, dass die Ölbekämpfungsschiffe es nicht geschafft haben, die nach EDRC berechneten Mengen an Öl aufzunehmen. Ziel des ERSP-Rechners war eine Verbesserung des EDRC-Rechners, indem unter anderem mehr Parameter, die die Effektivität einer Ölaufnahme beeinflussen, durch gezielte Annahmen oder Eingabemöglichkeiten berücksichtigt werden (Genwest Systems & Spiltec, 2012). Diese beiden Rechenmethoden wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit verglichen, die Eignung des ERSP-Rechners für die Ostsee untersucht und der aktuelle Vorsorgestatus diskutiert.

2. Aktueller Vorsorgestatus an der deutschen Ostseeküste

An der deutschen Ostseeküste sind im Moment sieben Ölbekämpfungs- bzw. Mehrzweckschiffe stationiert, drei davon in Kiel, welches durch seine Einfahrt zum Nord-Ostsee-Kanal ein strategisch wichtiger Punkt ist. Von den restlichen Vier sind in Rostock und Stralsund jeweils zwei Schiffe stationiert. Die Ölbekämpfungsschiffe sind so stationiert, dass innerhalb von acht Stunden nach einer Ölhavarie die ersten Ölbekämpfungsschiffe am Unfallort eintreffen. Für die Ölbergung sind auf den Schiffen entweder Bürsten- oder Wehraufnahmesysteme installiert. Die Schiffe, die mit einem Wehraufnahmesystem ausgerüstet sind, haben zusätzlich noch einen Separator, um den hohen Wasseranteil bei der Aufnahme nachträglich zu verringern. In Deutschland ist, im Falle einer größeren Ölhavarie, das Havariekommando als eine Einrichtung des Bundes und der Küstenländer für die Ölbekämpfungsmaßnahmen zuständig. Das Havariekommando geht davon aus, im Fall einer Ölhavarie mit den vorhandenen Aufnahmekapazitäten 15.000m³ Öl innerhalb von 48 Stunden aufnehmen zu können. Für diese Aufnahmekapazität ist der Einsatz aller Ölbekämpfungsschiffe aus Nord- und Ostsee erforderlich. Die meisten Ölbekämpfungsschiffe sind dafür ausgelegt, Öl bis zu einer Viskositätsbergrenze von 10.000cSt (Centistokes) aufzunehmen (Havariekommando, 2008). Der Vorsorgestatus wird ergänzt durch bilaterale Abkommen mit den Anrainerstaaten der Ostsee, sodass im Fall einer Ölhavarie auch die Ölbekämpfungsschiffe der anderen Ostseeanrainerstaaten schnell mobilisiert werden können. Außerdem gibt es immer wieder gemeinsame Übungen, um die verschiedenen Einheiten möglichst effektiv zusammen einsetzen zu können (Havariekommando, 2008).

3. Vergleich des EDRC- und ERSP-Rechners

3.1 EDRC-Rechner

Tabelle 1: Gleichung EDRC (Genwest Systems & Spiltec, 2012)

EDRC = NP*24*0,2			
NP [bbl]	Maximale Aufnahme­rate	0,2	Pauschale Verminderung der Aufnahmeleistung
24 [hr]	Arbeitszeit Ölaufnahmesystem		

Der Effective Daily Recovery Capacity (EDRC) Rechner wurde nach der Havarie des Öltankers Exxon Valdez 1989 entwickelt. Das Ziel war es, eine realistische Einschätzung über die Ölaufnahmemenge eines Ölbekämpfungssystems zu berechnen (Caplis, 2018). Der EDRC-Wert entspricht 20% der Aufnahme­rate des Aufnahmesystems multipliziert mit 24 Stunden (Tab. 1). Bei der Entwicklung des EDRC-Rechners wurde herausgefunden, dass für einen allgemeinen Berechnungsansatz starke Vereinfachungen getroffen werden mussten (International Oil Spill Conference, 1993). Die tatsächliche Aufnahmekapazität wurde als von zu vielen spezifischen Faktoren abhängig eingestuft, um sie exakt berechnen zu können. Diese Faktoren sind z. B. die Variation der Ölschichtdicke, Viskosität des Öls, Räum­breite, Wetterbedingungen und Emulsionsbildung. (Genwest Systems & Spiltec, 2012).

3.2 Effective Recovery System Potential Rechner

Für die Berechnung nach dem ERSP-Ansatz werden vier grundsätzliche Annahmen getroffen: Die Unterscheidung eines kontinuierlichen („Continuous Spill“) oder einmaligen Ölaustritts („Batch Spill“), eine Einsatzdauer von drei Tagen, eine Ölschichtdicke und ein Emulsionsanteil. Ein Beispiel für einen kontinuierlichen Ölaustritt ist der „Blow-out“ der Deepwater Horizon Bohrplattform. Ein einmaliger Ölaustritt ist z.B. die Havarie eines Tankers. Im Folgenden wird nur der einmalige Ölaustritt berücksichtigt, da ein kontinuierlicher Ölaustritt in der Ostsee sehr unwahrscheinlich ist. Für die Berechnung werden die ersten drei Tage nach einer Ölhavarie betrachtet. Die Zeitangaben beziehen sich auf einen fiktiven Ölaustritt um Mitternacht. Nach diesen drei Tagen wird davon ausgegangen, dass ein fallspezifisches Konzept zur Bekämpfung der Ölhavarie entwickelt ist. Der Rechner arbeitet im Fall eines einmaligen Ölaustritts jeden Tag mit einer neuen, abnehmenden Ölschichtdicke (t), weil sich das Öl mit der Zeit immer weiter ausbreitet. Die beim Ölaustritt entstehende Wasser-in-Öl Emulsion fließt als Emulsionsanteil in die Berechnung mit ein. Dieser Emulsionsanteil wurde simuliert und wird im Folgenden als PE bezeichnet. Bei einem einmaligen Ölaustritt werden folgende Werte angenommen: 35 % am ersten, 55% am zweiten und 75% am dritten Tag. In jeder ERSP-Rechnung wird davon ausgegangen, dass die aufgenommenen Flüssigkeiten eine Mischung von Öl, freiem Wasser und Emulsion sind. Der ERSP-Wert selbst ist die Menge des aufgenommenen reinen Öls (Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc., 2016).

Die Eingabeparameter für den ERSP-Rechner werden in drei Kategorien unterteilt: Einsatzbedingungen (E.B., Encounter Rate Parameters), Aufnahme­parameter (A.P., Recovery Parameters) und Speicherparameter (S.P., Storage Parameters). In Tab.2 sind alle Eingabeparameter aufgelistet. Für einige Werte wurden die vom ERSP-Rechner Handbuch vorgeschlagenen Annahmen verwendet. Diese werden im Folgenden kurz erläutert. Für die Einsatztaglänge wurden 12 Stunden angenommen, da davon ausgegangen wird, dass nur bei Tageslicht Öl aufgenommen werden kann. Für die Durchsatzeffizienz wurden 75% angenommen. Die Durchsatzeffizienz ist der Anteil an Öl innerhalb der Räum­breite, der nicht aufgrund von Seegang oder

Ähnlichem am Aufnahmesystem vorbei- oder darunter durchtreibt. Für die Aufnahmeeffizienz wird der vorgeschlagene Wert von 75% für Adhäsionsaufnahmesysteme und 50% für andere Aufnahmesysteme verwendet. Die Aufnahmeeffizienz ist der Anteil an Öl oder Emulsion von der Gesamtmenge, die aufgenommen wurde. Für die Berücksichtigung des Dekantiervorgangs, also dem Separieren des aufgenommenen Öl-Wasser-Gemischs und dem anschließendem Überbordpumpen des Wassers zur Entlastung der Tanks, wurden die im Handbuch vorgeschlagenen Werte verwendet (0%, 45% oder 50%, je nach Separationssystem). Außerdem wurden für die Einweg-Transitzeit und die Vor- und Nachberatungszeit zum Leichtern die Annahmen von jeweils 30 Minuten verwendet. (Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc., 2016).

Tabelle 2: Eingabeparameter für die Berechnung des ERSP-Wertes (Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc. 2016)

	Name		Name
E.B.	Einsatztaglänge [h]	S.P.	Tankgröße [bbf]
	Räumgeschwindigkeit [kts]		Dekantieranteil [%]
	Räumbreite [ft]		Dekantierpumprate [gpm]
A.P.	Technisch max. Aufnahme rate [gpm]		Vor- und Nachbereitungszeit Leichtern [min]
	Durchsatzeffizienz [%]		Einweg-Transitzeit zum Leichtern [min]
	Aufnahmeeffizienz [%]		Pumprate Leichterungspumpe [gpm]

Bei den Ausgaben des ERSP-Rechners werden für jeden Einsatztag alle Werte neu berechnet und in folgende vier Kategorien gegliedert: Antreffratenresultate (Encounter Rate Results), Aufnahmeresultate (Recovery Results), Speicherresultate (Storage Results) und Volumenresultate (Volume Results). Das wichtigste Ergebnis aus der Kategorie der Antreffratenresultate ist die Maximale Effektive Räumbreite (MES). Die MES bezeichnet die optimale Räumbreite, um möglichst viel Öl aufzunehmen. In ihre Berechnung fließen die Durchsatz- und Aufnahmeeffizienz, die maximale Aufnahme rate des Aufnahmesystems, die Räumgeschwindigkeit und die Ölschichtdicke mit ein. Wenn die installierte Räumbreite kleiner als die MES ist, wird in den nachfolgenden Berechnungen mit der Räumbreite und nicht mit der MES gerechnet. Die Kategorie Aufnahmeresultate umfasst Ergebnisse zur potenziellen Gesamtaufnahme rate des Ölbekämpfungsschiffes und den Anteilen an Wasser, Öl und Emulsion die dabei aufgenommen werden. Die Speicherresultate umfassen Ergebnisse zu den Fragen: Mit welcher Rate gelangt Wasser in den Tank? Mit welcher Rate wird dekantiert? Wie lange dauert es den Tank zu füllen und ihn anschließend zu leichtern? Wie oft schafft es das Ölbekämpfungsschiff pro Einsatztag seinen Tank zu füllen? Die Kategorie Volumenresultate ist sehr ähnlich zu der Kategorie Aufnahmeresultate. Der Unterschied ist, dass bei den Volumenresultaten der Einfluss des Dekantiervorgangs mitberücksichtigt wird und die Ergebnisse nicht in Raten sondern in Volumina angegeben werden. Innerhalb der Volumenresultate wird dann der ERSP-Wert berechnet, er gibt die Menge an reinem Öl an, die aufgenommen wurde. (Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc., 2016).

3.3 Auswertung der für die Ostseeküste berechneten ERSP-Werte

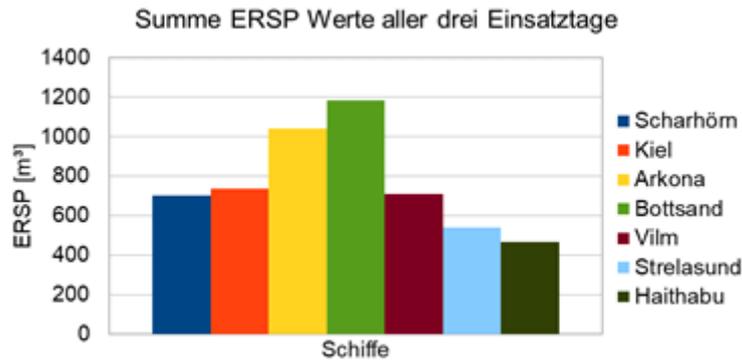


Abb. 1: Summe der ERSP-Werte aller 3 Einsatztage für die an der deutschen Ostseeküste stationierten Ölbekämpfungsschiffe

Abb. 1 zeigt die ERSP-Werte für die an der deutschen Ostseeküste stationierten Ölbekämpfungsschiffe, also das Endergebnis des ERSP-Rechners. Auffällig ist, dass nicht die Schiffe mit den höchsten technischen Aufnahmeleistungen (ARKONA und SCHARHÖRN mit einer Aufnahmeleistung von $640\text{m}^3/\text{h}$) den höchsten ERSP-Wert erzielen. So ist die BOTTSAND durch ihre große Räumbreite und Tankkapazität das Schiff mit dem höchsten ERSP-Wert, obwohl ihre Aufnahmeleistung mit $320\text{m}^3/\text{h}$ gerade mal der Hälfte der Aufnahmeleistung der SCHARHÖRN entspricht.

Aus den berechneten Ergebnissen konnten drei Hauptaussagen abgeleitet werden, welche im Folgenden vorgestellt werden. Erstens zeigt die Berechnung der durchschnittlichen Füll- und Entladezeit (Abb. 2) für ein Ölbekämpfungsschiff, dass in den ersten zwei Einsatztagen mehr Zeit mit dem Leichtern der Tanks verbracht wird als mit der Ölaufnahme. Mit abnehmender Ölschichtdicke verlängert sich die Zeit, die gebraucht wird, um den Tank zu füllen. Im Durchschnitt schaffen es die betrachteten Ölbekämpfungsschiffe am ersten Tag 2,5-mal ihren Tank zu füllen, am zweiten Tag 2-mal und am dritten Tag 1,5-mal.

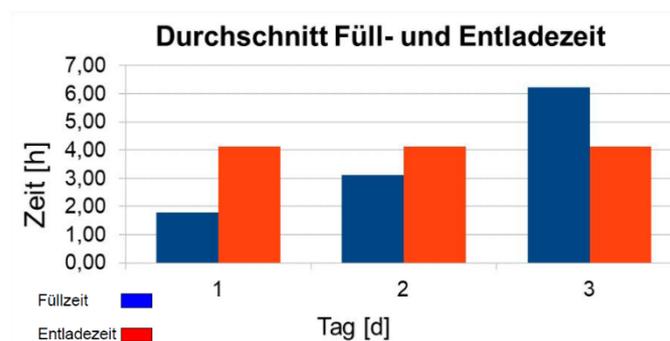


Abb. 2: Durchschnittliche Ölaufnahmezeit und Entladezeit aller Ölbekämpfungsschiffe

Zweitens hat die technisch mögliche Aufnahmeleistung des Aufnahmesystems (NP) bei der Berechnung der Gesamtaufnahmerate (TFRR) keinen direkten Einfluss, solange nicht die Maximale Effektive Räumbreite (MES) verwendet werden kann. Die Aussage, die sich daraus ableiten lässt, ist, dass durch die Diskrepanz zwischen der Leistung des Aufnahmesystems und der Räumbreite die volle Leistung des Aufnahmesystems nicht ausgenutzt werden kann. Bei

Ölbekämpfungsschiffen mit einer kleinen Räumbreite lohnt es sich also nicht, ein sehr leistungsstarkes Aufnahmesystem einzubauen. Dies ist in Tab.3 für die beiden Ölbekämpfungsschiffe SCHARHÖRN und KIEL einmal beispielhaft aufgeführt. Zusammen mit der ersten Aussage zur Tankkapazität lässt sich der Schluss ziehen, dass für eine effektive Ölaufnahme Räumbreite, Aufnahmeleistung und Tankkapazität in einem ausgewogenen Verhältnis zueinanderstehen müssen.

Tabelle 3: Zusammenhang MES und TFRR im Vergleich zur NP

Schiff	Tag	MES [m]	S [m]	TFRR ⁽¹⁾ [m ³ /h]	NP [m ³ /h]
SCHARHÖRN	1	45	37	522	640
	2	91	37	261	640
	3	181	37	130	640
KIEL	1	23	23	159	160
	2	45	24	84	160
	3	91	24	42	160

⁽¹⁾ $TFRR = Antreffrate^{(2)} * Durchsatzeffizienz/Aufnahmeeffizienz$
⁽²⁾ $Antreffrate = 63,13 * Räumbreite * Räumgeschwindigkeit * Ölschichtdicke$
(Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc., 2016)

Drittens sind in Tab. 4 die prozentualen Anteile der einzelnen Fluide am Gesamtvolumen zu sehen. Diese Anteile sind freies Wasser (VOFW), das bei der Ölaufnahme mit aufgenommen wird, Wasser das in Emulsion gebunden ist (VOWE) und der Anteil an Öl der aufgenommen wurde (ERSP). Aufsummiert ergeben VOFW, VOWE und ERSP 100 %. Diese 100 % sind das am jeweiligen Einsatztag aufgenommene Gesamtvolumen. Bei der Berechnung der prozentualen Anteile zeigt sich, dass es drei Gruppen von Ölbekämpfungsschiffen gibt, die die gleichen Anteile an freiem Wasser, Emulsion und Öl aufnehmen. Das lässt sich damit erklären, dass die Schiffe einer Gruppe immer die gleiche Aufnahmeeffizienz (RE) und den gleichen Dekantieranteil (PD) haben. Diese Werte fließen als Faktoren in die Berechnung der Volumina ein. Wie die berechneten Werte in der Tabelle aufzeigen, liegt der Anteil an Wasser (VOFW und VOWE) an jedem Einsatztag bei über 50%.

Tabelle 4: Prozentuale Anteile der aufgenommenen Fluide

Schiffe	Tag	VOFW [%]	VOWE [%]	ERSP [%]
SCHARHÖRN, ARKONA	1	34	23	43
	2	34	36	30
	3	34	49	17
KIEL, STRELA- SUND, HAITHABU	1	25	26	49
	2	25	41	34
	3	25	56	19
BOTTSAND, VILM	1	36	22	42
	2	36	35	29
	3	36	48	16

3.4 Vergleich von EDRC und ERSP anhand der Ergebnisse

In Abb. 3 sind die EDRC- und ERSP-Werte vergleichend für die drei Einsatztage aufsummiert dargestellt. Die am gleichen Ort stationierten Ölbekämpfungsschiffe sind zusammengefasst und die Werte auf ganze Zahlen gerundet.

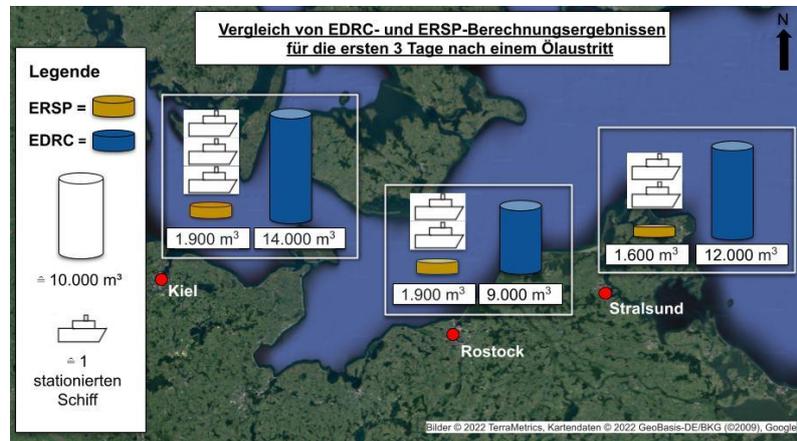


Abb. 3: Örtlicher Vergleich von EDRC und ERSP aufsummiert für alle drei Einsatztage

Die Ergebnisse für die potenzielle Aufnahmeleistung eines Ölbekämpfungsschiffes des ERSP-Rechners sind deutlich geringer als die des EDRC-Rechners. Um mit dem EDRC-Rechner Ergebnisse zu erhalten, die näher an denen des ERSP-Rechners liegen, müsste der Prozentsatz zur Verminderung der technischen Aufnahmeleistung tageweise wie folgt angepasst werden: 95,5% am ersten, 97,3% am zweiten und 99,5% am dritten Tag. Die starken Unterschiede kommen zunächst dadurch zustande, dass von einer unterschiedlichen Arbeitszeit des Ölbekämpfungsschiffes ausgegangen wird. Beim ERSP-Rechner wird davon ausgegangen, dass ein Ölbekämpfungsschiff maximal 12 Stunden am Tag mit der Ölaufnahme beschäftigt ist, nämlich während der Tageslichtperiode. Der ERSP-Rechner berücksichtigt, dass das Leichtern der Tanks auch außerhalb der Einsatzzeit (nachts) möglich ist. Der EDRC-Rechner hingegen wertet einen Einsatztag als 24 Stunden. Entladezeiten oder Zeiten, in denen aufgrund der Dunkelheit kein Öl aufgenommen werden kann, sind pauschal in der Reduzierung der Leistung des Aufnahmesystems auf 20% berücksichtigt. Des Weiteren wird beim EDRC-Rechner nicht mitberücksichtigt, dass die aufgenommene Menge reinen Öls aufgrund der Ausbreitung und Emulsion des Öls immer geringer wird, je länger die Ölhavarie her ist. Der Hauptgrund für die Unterschiede ist aber, dass der ERSP- und EDRC-Rechner auf unterschiedlichen Herangehensweisen zur Berechnung des möglichen aufzunehmenden Ölolumens basieren. Bei der Berechnung nach dem EDRC-Rechner wird die Leistung des Ölaufnahmesystems betrachtet und anschließend dieser Wert pauschal vermindert, um zu berücksichtigen, dass die Aufnahme nicht ungestört verläuft. Beim ERSP-Rechner geht es darum, welche Menge an ausgelaufenem Öl bei dem Ölaufnahmesystem ankommt und welche Faktoren die anschließende Aufnahme beeinflussen. Auch wenn hier ein Vergleich durchgeführt wurde, sind die Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise der Rechner kaum vergleichbar. Der ERSP-Rechner zeigt auf, dass eine Verminderung der Aufnahmeleistung um 80% nicht ausreichend ist und dass die Aufnahmeleistung eines Ölbekämpfungsschiffes nicht der maßgebliche Faktor für eine erfolgreiche Ölaufnahme ist. Das Ziel des ERSP-Rechners war es, den EDRC-Rechner weiterzuentwickeln und realistischere Näherungen für echte Aufnahmewerte zu erhalten. Dieses Ziel wurde erreicht.

4. Eignung des ERSP-Rechners für die deutsche Ostseeküste und die dort stationierten Ölbekämpfungsschiffe

Die drei aus den Ergebnissen geschlossenen Kernaussagen sind, dass in den ersten zwei Einsatztagen mehr Zeit mit dem Leichtern der Tanks als mit der Ölaufnahme verbracht wird, Räumbreite, Aufnahmeleistung und Tankkapazität in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen müssen und dass über 50% der aufgenommenen Fluide Wasser sind. Diese Aussagen gelten unabhängig von dem betrachteten Revier. Zu prüfen ist, inwiefern die im Handbuch vorgeschlagenen Annahmen verwendet werden können und wie die Kernaussagen des Rechners an der deutschen Ostseeküste berücksichtigt werden können. Von den Grundannahmen, die getroffen werden, sind die Ölschichtdicke und der Emulsionsprozentsatz revierabhängig. Die Ölschichtdicke wurde für Temperaturen von 0C, 10C und 15C und für Windgeschwindigkeiten von 5kts (2Bft), 10kts (3Bft) und 15kts (4Bft) simuliert und anschließend gemittelt (Genwest Systems & Spiltec, 2012). Die Wassertemperatur an der deutschen Ostseeküste schwankt von Mitte September bis Mitte Juni in dem für den ERSP-Rechner verwendeten Temperaturbereich von 0C bis 15C. Im Juli und August liegt sie bei über 15C (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, 2020). Die Windgeschwindigkeit an der deutschen Ostseeküste liegt im Jahresdurchschnitt bei über 4Bft. (Messpunkt Station Arkona Becken, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde 2020). Dementsprechend sind die vom ERSP-Rechner verwendeten Windgeschwindigkeiten zur Ermittlung der Ölschichtdicke für die deutsche Ostseeküste zu gering. Daraus kann geschlossen werden, dass bei der Berechnung der Aufnahmekapazität mit dem ERSP-Rechner von zu geringen Windgeschwindigkeiten ausgegangen wird und die Ergebnisse gegebenenfalls noch schlechter ausfallen, wenn die Ölschichtdicke mit den in der Ostsee vorherrschenden Windbedingungen simuliert wird.

Die Simulation des Emulsionsprozentsatzes wird im Handbuch nicht näher beschrieben. Auf Nachfrage ergibt sich, dass bei der Entwicklung des ERSP-Rechners der Emulsionsprozentsatz für verschiedene Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Ölsorten, Windgeschwindigkeiten und Wassertemperaturen simuliert wurde. Die in der Simulation verwendeten Ölsorten entsprechen in etwa denen, die von den an der deutschen Ostseeküste stationierten Ölbekämpfungsschiffen aufgenommen werden können. Das Ergebnis der Simulationen ist, dass der Wind und die Verdunstung den größten Einfluss auf die Bildung von Emulsion haben und es dadurch nicht möglich ist, einen repräsentativen Emulsionswert festzulegen. Von diesen Simulationen wurde dann trotzdem ein Emulsionsprozentsatz abgeleitet, weil für eine realistische Berechnung der Aufnahmekapazität die Bildung von Emulsion mit einbezogen werden muss (J. Caplis persönliche Kommunikation 02.09.2020). Folglich ist die Annahme des Emulsionsprozentsatzes, unabhängig vom betrachteten Revier, eine Schwachstelle des Rechners.

Die von den an der deutschen Ostseeküste stationierten Ölbekämpfungsschiffen genutzte Kombination aus zwei an den Seiten fest installierten Ölsperren und fest verbauten Tanks und Ölaufnahmesystemen schneidet bei dem ERSP-Rechner aufgrund ihrer geringen Räumbreite und Tankkapazität sehr schlecht ab. Für das Revier der Ostsee bieten diese Ölbekämpfungsschiffe aber viele Vorteile: Durch die geringe Räumbreite und kleine Schiffsgröße besitzen sie eine hohe Manövrierfähigkeit. Diese ist in der Ostsee, gerade im küstennahen Bereich aufgrund von vielen Untiefen, Seezeichen etc. von Vorteil. Außerdem haben die Ölbekämpfungsschiffe hohe Reise- und Räumgeschwindigkeiten. Für die Ölaufnahme mit einer größeren Räumbreite gibt es die Möglichkeit, mit mehreren Ölbekämpfungsschiffen und einer mobilen Ölsperre eine größere Räumbreite aufzuspannen. Diese Möglichkeit wird vom Havariekommando geübt (Havariekommando, 2008). Ein Lösungsansatz für die geringen Tankkapazitäten wäre der Einsatz

von mobilen Tanks, die bei Bedarf an das Ölbekämpfungsschiff an- und abgeschlossen werden können.

5. Bewertung Vorsorgestatus an der deutschen Ostseeküste

Laut dem ERSP-Rechner ist in der Ostsee eine Gesamtaufnahmekapazität von $5.376,95\text{m}^3$ in den ersten drei Einsatztagen gegeben. Das entspricht etwa einem Drittel von dem 15.000m^3 Ziel. Insgesamt gibt es in Deutschland 24 Schiffe, die für die Ölaufnahme vorgesehen sind. Wenn von den Ostseeschiffen ausgehend als grobe Annahme festgelegt wird, dass sieben Schiffe innerhalb von drei Tagen bzw. dem Operationszeitraum von 60+ Stunden eine Aufnahme von 5.000m^3 Öl erzielen, kann die Aussage getroffen werden, dass auch mit den Ergebnissen des ERSP-Rechners die Aufnahme von 15.000m^3 möglich ist. Dabei ist aber zu beachten, dass das Zeitfenster größer ist als in der Zielsetzung (60+ Stunden statt 48 Stunden). Unter Berücksichtigung des vom ERSP-Rechner zugrunde gelegten Zusammenhangs zwischen Ölaufnahmeleistung, Räumbreite und Tankkapazität ist die geringe Tankkapazität als der relevanteste Faktor für die Ostsee und die vorhandenen Ölbekämpfungsschiffe zu gewichten. Die meisten in der Ostsee stationierten Schiffe haben einen vergleichsweise kleinen Tank im Verhältnis zur Aufnahmeleistung. Beispielsweise hat das Ölbekämpfungsschiff KIEL eine technische Aufnahmeleistung von $160\text{m}^3/\text{h}$ und eine Tankkapazität von 325m^3 . Das heißt, wenn das Ölbekämpfungsschiff wirklich effektiv arbeiten kann, weil z.B. die äußeren Bedingungen stimmen (Wetterverhältnisse, Ölschichtdicke etc.), ist der Tank schnell gefüllt und die Arbeit muss unterbrochen werden. Außerdem wird die Frage aufgeworfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, so große Ölaufnahmesysteme zu verbauen, wenn die Tankkapazität und Räumbreite in keinem Verhältnis dazu stehen. Auf der in der Bachelorarbeit erarbeiteten Basis lässt sich nur schwer eine Aussage über den Vorsorgestatus an der deutschen Ostseeküste treffen. Es sind zu viele Faktoren, die diesen beeinflussen, wie z.B. die bilateralen Abkommen oder die Teilung zwischen den in der Nord- und Ostsee stationierten Schiffen. Außerdem sind die berechneten Werte nur theoretische Werte, die nur nach einiger Praxiserfahrung auf Ölbekämpfungsschiffen realistisch bewertet werden können. Insgesamt ist der Vorsorgestatus auf Basis der errechneten Werte für die ersten 24 Stunden nach einer Ölhavarie noch ausbaufähig. Auch wenn mit der oben erwähnten Hochrechnung das Ziel von 15.000m^3 erreicht werden kann, ist das nur möglich, wenn alle Schiffe im Einsatz sind. Dafür haben diese aber für eine Ölhavarie lange Anfahrtszeiten, z. B. braucht die KNECHTSAND (in Cuxhaven stationiert) laut Aussage des Kapitäns 18 Stunden, um Kiel zu erreichen. Auch Abkommen mit den anderen Anrainerstaaten greifen in den ersten Stunden nach einer Havarie noch nicht. Dementsprechend sind in den ersten Stunden, die als die wichtigsten bewertet werden, nur die in der Ostsee stationierten Schiffe vor Ort. Diese sind durch ihre kleinen Tankkapazitäten allerdings schnell voll und folglich mit Leichtern beschäftigt.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Vergleich der beiden Rechner konnte festgestellt werden, dass die Berechnung der EDRC- und ERSP-Werte auf zwei unterschiedlichen Grundprinzipien basieren. Das Grundprinzip für die Berechnung des EDRC-Wertes ist, welche Menge an Öl das Aufnahmesystem des Ölbekämpfungsschiffes aufnehmen kann. Beim ERSP-Rechner liegt der Berechnung zu Grunde, welche Menge an Öl in den Aufnahmebereich des Ölbekämpfungsschiffes kommt. Der ERSP-Rechner wurde mit dem Zweck entwickelt, im Vergleich zum EDRC-Rechner praxisnähere Werte zu ermitteln. Wie die vorliegende Arbeit zeigt, ist dies gelungen. Allerdings beruhen diese Werte

weiterhin auf einer Reihe von Annahmen, die nicht immer der Realität entsprechen. Dies wird besonders ersichtlich an dem Emulsionsprozentsatz, dessen Abhängigkeit von aktuellen Gegebenheiten, insbesondere vom Wind, einer allgemeingültigen Simulation entgegensteht. Aus den ERSP-Werten, die für die an der deutschen Ostseeküste stationierten Schiffe berechnet wurden, lässt sich ableiten, dass die Schiffe im Vergleich zu ihrer Aufnahmeleistung eine zu kleine Räumbreite und Tankkapazität haben. Dies führt dazu, dass besonders in den ersten zwei Einsatztagen nach einer Ölhavarie laut dem ERSP-Rechner viel Zeit mit dem Leichtern der Tanks verloren geht. Trotz der in einigen Schiffen verbauten Separatoren liegt der mitaufgenommene Wasseranteil stets bei mindestens 50%. Um eine objektive Bewertung des Vorsorgestatus für die Bekämpfung einer Ölhavarie zu formulieren, reicht der erarbeitete Wissensstand in der Bachelorarbeit nicht aus. Den Vorsorgestatus beeinflussen weitaus mehr Faktoren als nur die in der Ostsee stationierten Ölbekämpfungsschiffe, so müssen beispielsweise auch bilaterale Abkommen oder die in der Nordsee stationierten Ölbekämpfungsschiffe berücksichtigt werden. Es wirkt sich aber negativ auf den Vorsorgestatus aus, dass in den ersten Stunden nach einer Havarie nur die wenigen in der Nähe der Havarie stationierten Ölbekämpfungsschiffe vor Ort sind. Diese müssen im Falle einer effektiven Ölaufnahme bereits nach kurzer Zeit wegen eines gefüllten Tanks zum Leichtern die Ölaufnahme unterbrechen. Das ist sehr ungünstig, weil das Öl mit voranschreitender Zeit immer mehr Emulsion bildet, die Ölschichtdicke dünner wird und sich dadurch das Öl schlechter aufnehmen lässt. Durch die Bachelorarbeit sind einige Punkte aufgeworfen worden, an denen angesetzt werden könnte, um zu forschen, wie die Ölbekämpfungsschiffe effektiver ausgestattet werden können. Dazu zählt das Verhältnis zwischen Räumbreite, Aufnahmeleistung und Tankkapazität. Welches Verhältnis sollte hier vorliegen? Wie kann das erreicht werden? Außerdem wäre es interessant, herauszufinden, ob es Möglichkeiten gibt, um die Wassermenge, die im Vergleich zum Öl aufgenommen wird, weiter zu minimieren bzw. ob es gute Verfahren gibt, um das Wasser herauszufiltern. Die letzte Frage schließt daran an: Wie kann die Zeit zum Leichtern verringert oder die Zeitspanne des Ölaufnehmens erhöht werden? Wenn es nicht möglich ist, die mechanische Ölbekämpfung effektiver zu gestalten wird die Frage aufgeworfen, ob die mechanische Ölbekämpfung in einem angemessenen Aufwand/Nutzen Verhältnis steht. Ist dies nicht der Fall, sollte nach Alternativen zur mechanischen Ölbekämpfung gesucht werden.

7. Referenzen

Bureau of Safety and Environmental Enforcement & Genwest Systems, Inc. (2016) Estimated Recovery System Potential (ERSP) Calculator User Manual.

<https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/fact-sheet/technology-and-research/mechrecovery-man.pdf>, Zuletzt aufgerufen 10. August 2020

Caplis, J. (2018) How Much is Enough? Planning Standards, Preparedness Research, and New Planning Tools for Measuring Response Equipment Capabilities. <http://www.inter-spill.org/previous-events/2018/15March2018/3-Strategic-Aspects-of-Preparedness/How-Much-is-Enough-J-Caplis-Bureau-of-Safety-and-Environmental%20Enforcement.pdf>, Zuletzt abgerufen 10. August 2020

Genwest Systems & Spiltec (2012) EDRC Project Final Report. https://www.genwest.com/wp-content/uploads/2017/04/Genwest_EDRCProject_Final_Report.pdf, Zuletzt abgerufen 10. August 2020

Havariekommando (2008) Gemeinsames Systemkonzept des Bundes und der Küstenländer zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen. Systemkonzept SUB 2007. Gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer

HELCOM (2018) Baltic Sea case study – A Practical Demonstration on the Use of the OpenRisk Guideline. Baltic Sea Environment Proceedings No. 165. <https://helcom.fi/media/publications/BSEP165.pdf>, Zuletzt abgerufen 10. August 2020

International Oil Spill Conference (1993) 1993 International Oil Spill Conference. International Oil Spill Conference Proceedings, Ausgabe 1993(1)

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (2020) Station Arkona Becken. Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde. <https://www.io-warnemuende.de/marnet-ozeaneum-arkona-becken.html#/right=tA/timespan=yearly> Zuletzt abgerufen 29. August 2020

Nausch, G. (2005) Der Zustand der Ostsee und die Aktivitäten der Helsinki-Kommission. Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde. <https://www.io-warnemuende.de/der-zustand-der-ostsee.html>, Zuletzt abgerufen 25. August 2020

United Nations conference on trade and development (UNCTAD) (2017) Review of maritime transport 2017. United Nations. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf, Zuletzt abgerufen 08. September 2020

VPS Bekämpfungshandbuch (2019) VPS Bekämpfungshandbuch. https://www.vpsserver2.de/vpsweb/vps_buch/vps_bekaempfungshandbuch_web/index.html#!word_dokumente/5eigenschaftenvonlundderenauswirkungennacheinemlunfall.htm, Zuletzt abgerufen 10. August 2020

Die Seeschleuse ging in ihrer jetzigen Form 1975 in Betrieb. Die lichte Breite der Seeschleusendurchfahrt beträgt rd. 26 m, zzgl. 2 x 0,25 m für die Reibehölzer. Zwischen den Torachsen ist die Seeschleuse rd. 155 m lang. Die Schleusenkommer besteht aus mit Schrägpfehlen verankerten Stahlspundwänden, deren Oberkante bei NHN rd. +3,00 m liegt. Die Oberkante des Außen- und Binnenhauptes liegt bei NHN rd. +6,50 m und die der Schiebetore bei NHN rd. +5,90 m.

Das Außenhaupt mit dem Schiebetor und die angrenzenden Bauwerksteile, die in den Landeschutzdeich einbinden, bilden die erste Deichlinie für den Hochwasserschutz der Stadt Papenburg. Vom Außenhaupt bis zum Binnenhaupt der Seeschleuse verläuft ein Ringdeich als zweite Deichlinie.

Das bestehende Außenhaupt der Seeschleuse soll durch einen Neubau, der unmittelbar emsseitig des bestehenden Hauptes angeordnet wird, ersetzt werden. Für das neue Außenhaupt wurde das bewährte Konstruktionsprinzip des vorhandenen Außenhauptes übernommen. Als Verschlusssystem fungiert ein Schiebetor mit Seilantrieb. Auf dem Schiebetor wird ein Gehweg für Fußgänger vorgesehen.

Seit dem Umbau der Seeschleuse 1974 wurden wiederholt Schäden an der Schienenanlage und den Laufrollen bzw. dem Unterwagen selbst festgestellt. In immer kürzeren Zeitabständen mussten Sanierungen und Reparaturen durchgeführt werden, um den Schleusenbetrieb aufrecht zu erhalten.

Die Häufung der Schäden hat verschiedene Ursachen. Die als Resultat der Ausbaumaßnahmen an der Ems höhere und schneller auflaufende Tide bewirkt insbesondere am Außentor wesentlich höhere dynamische Lasten als sie 1974 bei der statischen Berechnung zugrunde gelegt wurden. Hinzu kommt, dass durch Undichtigkeiten in den Torkörpern die Luftzellen, die Auftrieb erzeugen sollten, teilweise mit Wasser und Schlick angefüllt sind. Dieses Gemisch sorgt für eine wesentlich höhere Belastung der Unterwagen-/Schienenkonstruktion. Auch der feine Schlickanteil im Wasser sorgt für Schäden an den Radlagerungen der Unterwagen.



Abb. 2: Übersicht über die Seeschleuse - September 2021

2. Projektübersicht

Allgemein:

Die Baumaßnahme beinhaltet die Errichtung eines neuen Außenhauptes vor dem bereits heute bestehenden Außenhaupt der Seeschleuse Papenburg. Die wesentlichen Bauteile sind die Torkammer, der Drempel mit Toranschlägen und Gegenanschlag, das Maschinenhaus sowie das neue Schleusentor inkl. der dazugehörigen Maschinen- und Elektrotechnik sowie die Außenanlagen. Die Torkammer ist mit einem lichten Abstand von rd. 2,60 m vor der vorhandenen Torkammer hergestellt worden. Der Raum zwischen alter und neuer Torkammerwand wurde verfüllt. Nach Ausbau des vorhandenen Schleusentores wird voraussichtlich im Jahre 2022 die vorhandene Torkammereinfahrt dauerhaft geschlossen und die Torkammer u. a. mit Blähton verfüllt.



Abb. 3: Blick auf das Außenhaupt

Torkammer:

Die als kombinierte Spundwand hergestellte Torkammer des neuen Außenhauptes hat eine Länge von rd. 43 m und eine lichte Breite von rd. 6 m. Die Tragbohlen haben eine Länge von 36 m. Zur Erhöhung der Dichtigkeit wurden sowohl auf der Innen- als auch auf der Außenseite Füllbohlen vorgesehen. Die nördliche Torkammerwand wird über Mikropfähle vom Typ Ischebeck Titan verankert und im weiteren Verlauf bis in den Landesschutzdeich geführt. Die südliche Kammerwand ist als unverankerte Wand ausgeführt und zur Minimierung von Verformungen konstruktiv an die vorhandene Nordkammerwand angeschlossen worden. Die Torkammersohle wurde ebenfalls mit Mikropfählen vom Typ Ischebeck Titan setzungsarm tiefgegründet und gegen Auftrieb gesichert.

Drempel:

Die lichte Breite der Schleusendurchfahrt beträgt rd. 26 m. Im Durchfahrtsbereich liegt die Drempeoberkante auf NHN -5,20 m. Über die Seeschleuse können Seeschiffe mit einem Tiefgang von bis zu 5,50 m (zzgl. 0,50 m Under keel clearance) den Papenburger Hafen anlaufen. Der Drempel ist im Durchfahrtsbereich auf insgesamt 25 Stahlrohren tiefgegründet worden und wurde zusammen mit dem Gegenanschlag und den Toranschlägen abseits des eigentlichen Baufeldes als Stahlbetonfertigteile hergestellt. Beim Einbau der Gründungsrohre waren sehr geringe Rammtoleranzen gefordert, da die Lage der 25 Gründungrohre ziemlich exakt mit den auf der Unterseite des Drempefertigteils angeordneten „Auflagertaschen“ übereinstimmen musste.

Die 4 Führungsrohre $\varnothing 813 \times 25$ mm binden rd. 13,4 m in den sehr gut tragfähigen Baugrund ein. Aufgrund der relativ hohen Vertikalkraft in Höhe von bis zu 4.150 kN je Rohr, die beim Absenken des Drempels auftreten, wurden die Führungsrohre zur Erhöhung der Tragfähigkeit mit einem patentierten Innenring aus Stahl ausgerüstet. Der Innenring führt zu einer Verdichtung des im Inneren des Rohres befindlichen Bodens.

Durch den Einbau des Drempels als Stahlbetonfertigteile wurden die Sperrzeiten der Schleuse deutlich minimiert. Die Masse des Drempelfertigteils beträgt rd. 1.400 t. Die Sicherung gegen Unterläufigkeit im Drempelbereich erfolgt durch eine einseitige Unterwasserspundwand.

Die Ausschreibung sah für den Einbau des Drempelfertigteils den Einsatz eines Schwimmkrans vor, an dem das Fertigteile hängend zur Lokation transportiert und anschließend an der richtigen Position auf den Gründungsrohren abgestellt werden sollte. Zur Erzielung einer ausreichenden Schwimmtiefe für den Schwimmkran wären aufwendige Baggerungsmaßnahmen notwendig gewesen.

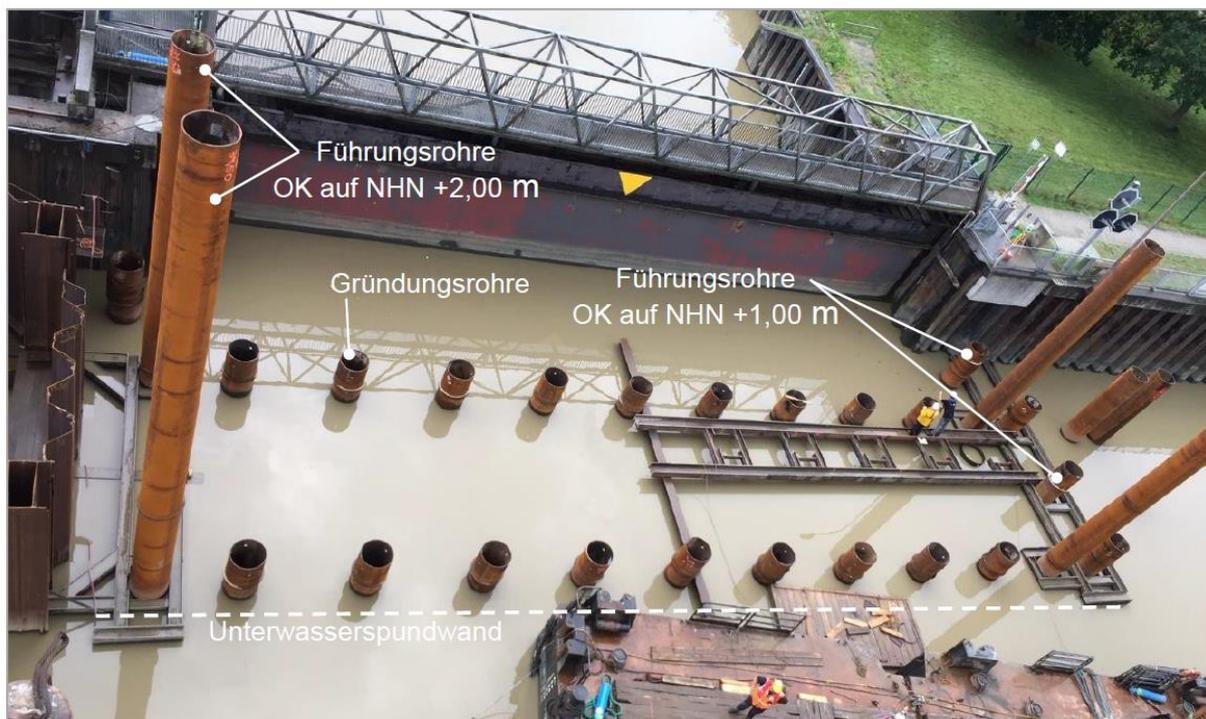


Abb. 4: Einbau der Drempel-Gründungsrohre - Juli 2020

3. Einbau des Drempelfertigteils

Im Zuge der Bauausführung wurde entschieden, das 1.400 t schwere Drempelfertigteile direkt auf dem Deck eines Pontons im rd. 45 km entfernten Emden herzustellen und anschließend mit Hilfe einer Absenkeinrichtung an der Lokation abzusenken. Die Länge des Drempelfertigteils beträgt 32,9 m, die Breite 8,0 m. Der Gegenanschlag und die Toranschläge (Tordurchfahrt) haben eine Gesamthöhe von 9,6 m. Zur Aufnahme der vier Führungsrohre sind im Gegenanschlag sowie in den beiden Toranschlägen von oben nach unten durchgängige Aussparungen vorgesehen.

Für den Ponton mussten aufgrund der hohen Belastung gesonderte hydrostatische Nachweise sowie Strukturnachweise geführt werden. Dies führte zu Ertüchtigungsmaßnahmen am Ponton. Der rd. 22 m breite Ponton musste seitlich mit insgesamt acht bis zu 9 m langen Stahl-Konsolen temporär

verbreitert werden, so dass das 32,9 m lange Fertigteil quer auf dem Ponton liegend hergestellt werden konnte.



Abb. 5: Transport des Drempelfertigteils über die Ems – März 2021

Nach der Herstellung des Fertigteils wurde dieses schwimmend zur Lokation transportiert und bei auflaufendem Wasser über den vier Führungsrohren positioniert. Damit das Fertigteil nicht mit den bis auf NHN +2,00 m herausstehenden Führungsrohren kollidiert, konnte das Einschwimmen erst ab einem Mindestwasserstand von NHN rd. +1,00 m erfolgen. Das nachfolgende Bild zeigt die Situation beim Einschwimmen bzw. Positionieren des Drempelfertigteils.

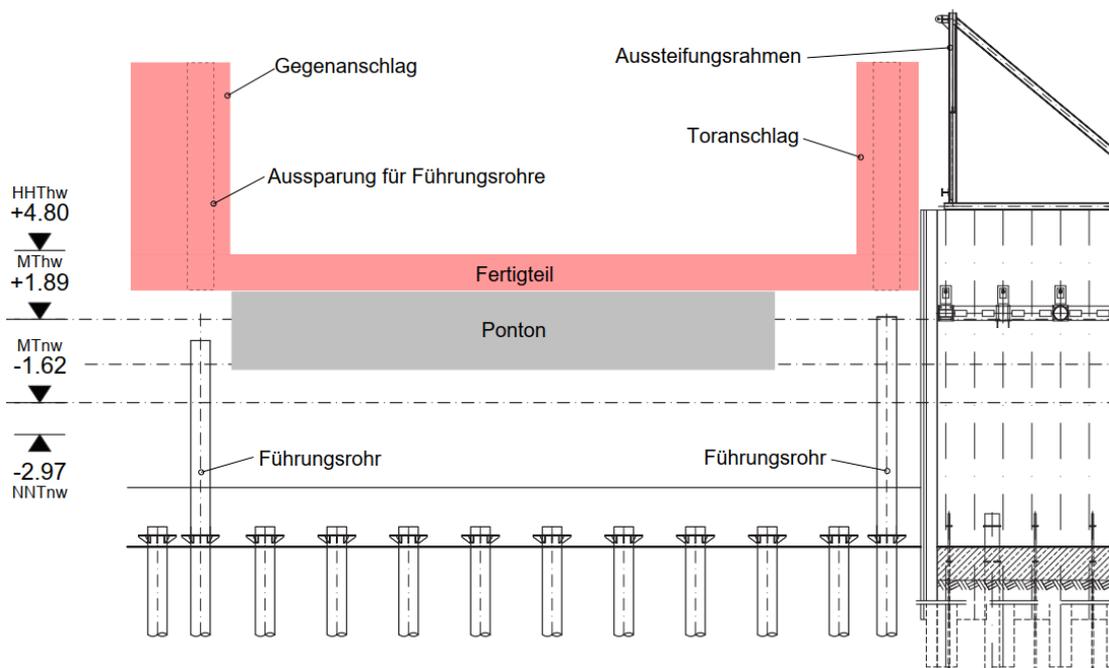


Abb. 6: Fertigteil bei auflaufendem Wasser einschwimmen und positionieren

Anschließend wurden speziell für diesen Einsatz konzipierte Absenkrahmen, auf denen die Pressen bereits installiert waren, durch die vier Ausparungen im Fertigteil mit einer Art „Köcher“-

Konstruktion in die Führungsrohre eingestellt. Durch die eingestellten Absenkrahmen war das Fertigteil nun in der Lage gesichert und konnte sich mit der Tide frei auf- und abwärts bewegen. Zur horizontalen Aussteifung der Absenkrahmen wurden diese am Kopf an zuvor montierte Aussteifungsrahmen unverschieblich angeschlossen. Im nächsten Schritt sind die Gewi-Stäbe von oben durch die Hohlkolbenpressen gesteckt und an das Fertigteil angeschlossen worden. Das Fertigteil konnte sich dabei noch immer frei mit der Tide auf- und abwärts bewegen. Das Festsetzen des Fertigteils erfolgte bei ablaufendem Wasser, indem die Muttern auf die ausgefahrenen Pressen gedreht wurden. Bei ablaufendem Wasser ging die Last des Fertigteils dann nach und nach vom Ponton auf die Gewi-Stäbe/Absenkrahmen über. Ab einer Wasserstandsänderung von rd. 2,3 m konnte der Ponton unter dem Fertigteil ausgeschwommen werden. Das folgende Bild zeigt die Situation vor dem Ausschwimmen des Pontons.

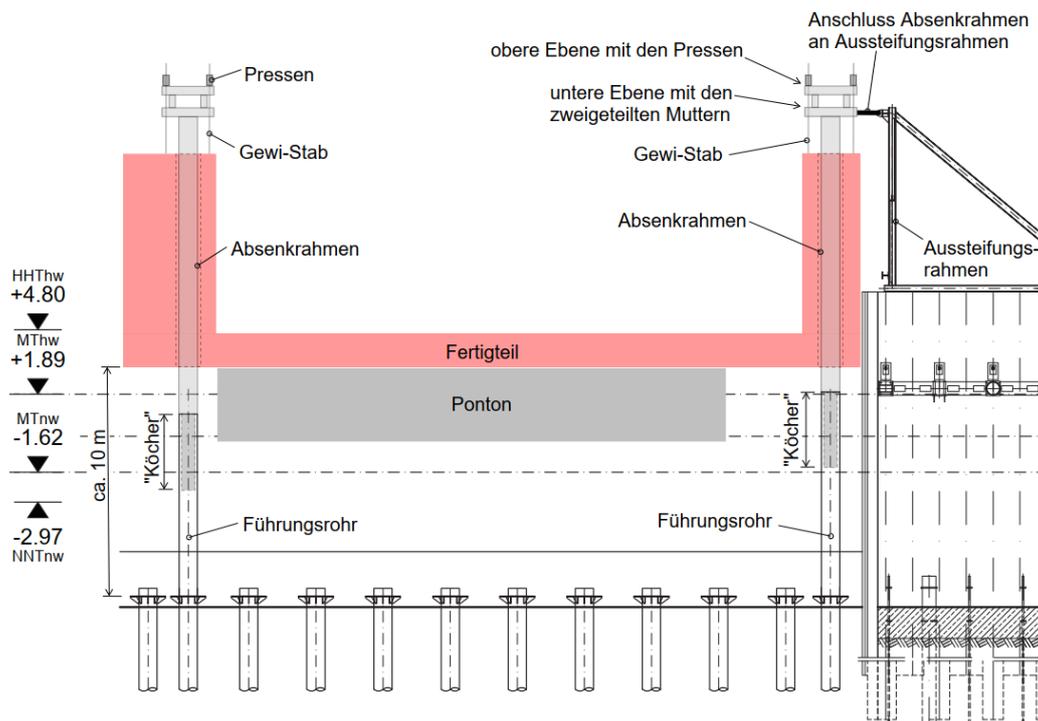


Abb. 7: Absenkrahmen einstellen + Anschluss an Aussteifungsrahmen + Einbau Gewi-Stäbe



Abb. 8: Vorarbeiten für das Absenken des Drempelfertigteils – März 2021

Das anschließende Absenken des Fertigteils erfolgte mittels hydraulischer Hohlkolbenpressen. Die Pressen wurden auf jeder Seite hydraulisch so miteinander verbunden, dass sich die Auflagerkräfte gleichmäßig auf die Pressen verteilten. Die maximal aufnehmbare Pressenkraft betrug je Presse 930 kN. Die Auflagerkraft auf der Seite des Gegenanschlages ist mit 8.300 kN größer als die Auflagerkraft von 5.700 kN auf der Toranschlagsseite. Auf der Seite des Gegenanschlages wurden insgesamt zwölf Pressen eingesetzt. Auf der Seite der Toranschläge kamen insgesamt acht Pressen zum Einsatz. Das nachfolgende Bild zeigt die Situation beim Absenken des Fertigteils.

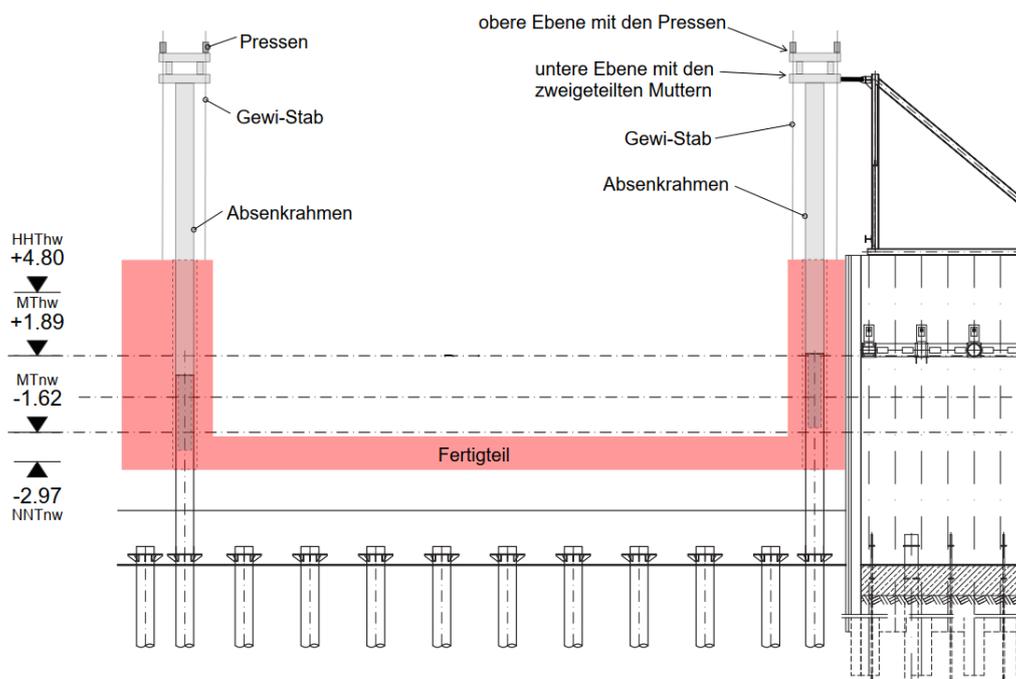


Abb. 9: Schrittweises Absenken des Fertigteils mit Hilfe der Hohlkolbenpressen

Bei Erreichen des maximalen Pressenhubes von rd. 15 cm (Zylinder sind fast komplett eingefahren), musste die Last zwischenzeitlich auf der sogenannten unteren Ebene aufgelagert werden. Dies geschah mit zweigeteilten Kugelbundmuttern, die um die Gewi-Stäbe gelegt und mit einem Stahlring zusammengehalten wurden. Anschließend konnten die Muttern auf den Pressen gelöst und die Pressen wieder ausgefahren werden. Durch das wechselseitige Festsetzen der Muttern auf der oberen und unteren Ebene wurde das Fertigteil mit Hilfe der Pressen schrittweise abgesenkt. Dieser Zyklus wiederholte sich bei einer Absenktiefe von 10 m rd. 80-mal bis das Fertigteil in seiner Endposition angekommen war.



Abb. 10: Das Drenpelfertigteil hängt an den Gewi-Stäben – März 2021

Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht nochmal den Zusammenhang zwischen der Tide und dem Festsetzen des Fertigteils/Ausschwimmen des Pontons. Erst ab einer Wasserstandsänderung nach dem Festsetzen von mindestens 2,29 m kann der Ponton ausgeschwommen werden. Die mindestens erforderliche Wasserstandsänderung von 2,29 m ergibt sich aus der durch das Fertigteil induzierten Eintauchtiefe sowie dem Deckaufbau auf dem Ponton.

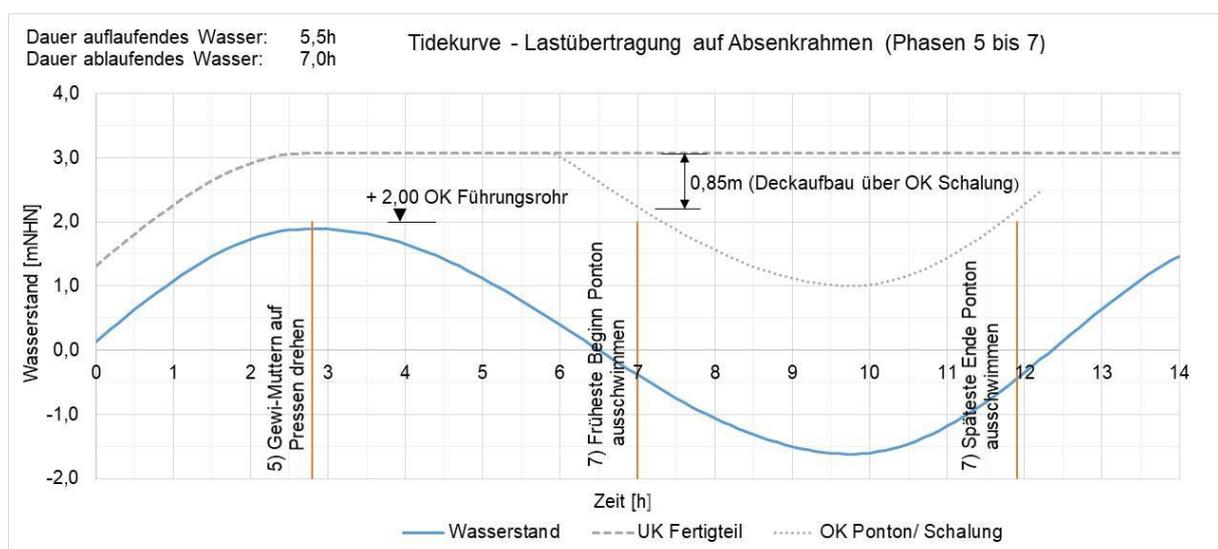


Abb. 11: Festsetzen des Fertigteils und Ausschwimmen des Pontons

4. Fazit

Anstatt das Drempelfertigteil mit Hilfe eines Schwimmkrans zu transportieren und einzubauen, wurde das Drempelfertigteil auf einem Ponton hergestellt und mittels hydraulischer Pressen, die auf sogenannten Absenkrahmen montiert waren, vor Ort abgesenkt.

Zudem musste die Struktur des Pontons auf Grund der hohen Belastung durch das Fertigteil ertüchtigt werden. Zur Erzielung einer ausreichend großen Betonierfläche wurde der Ponton mittels Konsolen verbreitert. Zusätzliche Stahlbauarbeiten wurden u. a. für den Bau der Absenkrahmen und Aussteifungsrahmen erforderlich. Der planerische Aufwand hat sich gegenüber der Schwimmkranvariante erhöht.

Die Vorteile des Einbaus des Drempelfertigteils mit Hilfe von Pressen inkl. der stahlbaumäßigen Absenkvorrichtung überwiegen jedoch. Alle Arbeiten konnten hinsichtlich der Termine und Kosten unabhängig vom Schwimmkran ausgeführt werden, wodurch die Risiken deutlich reduziert wurden. Weiterhin konnte auf die Baggerung zur Erzielung einer ausreichenden Schwimmtiefe für den Schwimmkran sowie eventuelle Unterhaltungsmaßnahmen verzichtet werden.

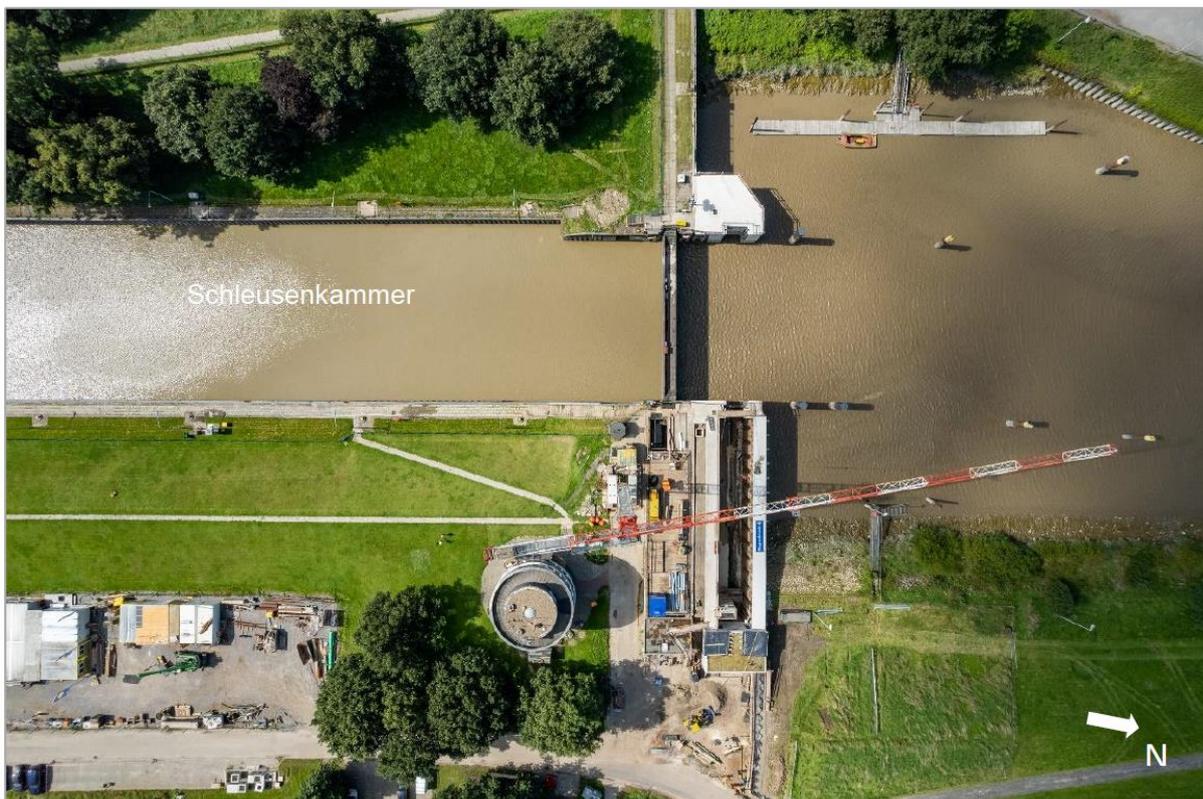


Abb. 12: Draufsicht auf das Außenhaupt – September 2021

Der Bau des Außenhauptes der 5. Schleusenkammer Brunsbüttel

C. Fabricius, M.Sc., Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, Hamburg

Quer durch Schleswig-Holstein verläuft der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) und ist eine wichtige Schifffahrtsverbindung. Bei der Einmündung zur Elbe in Brunsbüttel sind die über 100 Jahre alten bestehenden Schleusen sanierungsbedürftig. Um den Betrieb des NOK weiterhin aufrecht erhalten zu können, wird zwischen den bestehenden Schleusen eine weitere Schleusenkammer errichtet. Das Außenhaupt hat neben der aufwändigen Logistik einer Inselbaustelle und die Herstellung in 26m tiefen Baugruben in der Nähe zum Bestand weitere Herausforderungen (z.B. Sicherstellung des Hochwasserschutzes während der Bauzeit, Gewährleistung des Baustellenverkehrs durch eine Behelfsbrücke, Abhängigkeiten zwischen den Baugruben aufgrund des von der Logistik vorgegebenen Baufortschritts und dem Einfluss der Elbe – Tideabhängigkeit).

1. Projektbeschreibung

Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) ist eine ca. 99 km lange Wasserstraße zwischen der Elbe bzw. der Nordsee und der Ostsee. Auf der westlichen Seite in Brunsbüttel mündet der Kanal in die Elbe und auf der östlichen Seite in Kiel in die Ostsee. Er verläuft quer durch Schleswig-Holstein und erspart den Schiffen durch die direkte Verbindung einen Umweg über Skagen (Dänemark), wodurch im Schnitt rund 250 Seemeilen (463 Kilometer) eingespart werden können und er daher für die Seeschifffahrt von großer Bedeutung ist.

Der Kanal wurde 1895 als Kaiser-Wilhelm-Kanal eröffnet. Als westliches Tor zum Kanal dienten anfänglich 2 Schleusen mit einer jeweiligen Nutzgröße von 125m x 22m (den sogenannten „kleinen Schleusen“), welche Im Jahr 1914 durch zwei weitere Schleusen mit einer Nutzgröße von 310m x 42m (den sogenannten „großen Schleusen“) ergänzt wurden, um den stetig steigenden Schiffsverkehr auf dem NOK bewältigen zu können.



Abb. 1: Verlauf des NOK zwischen Brunsbüttel und Kiel links und Lage von Brunsbüttel rechts, Quelle WSA Brunsbüttel

Die Schleusen dienen dem Ausgleich der Wasserstandsdifferenzen zwischen der tideabhängigen Elbe und dem tidenunabhängigen NOK. Die beiden Großen Schleusen weisen einen enormen Sanierungsstau auf. Um während den notwendigen Arbeiten den Schiffsverkehr aufrecht

erhalten zu können, ist eine weitere große Schleuse erforderlich. Diese soll eine Nutzgröße von 360m x 44m besitzen.

Lage der Baustelle

Die Baustelle der 5. Schleusenkammer liegt zwischen dem zu schützenden Bestand der „kleinen“ und „großen“ Schleusen in einer Insellage und besteht im Wesentlichen aus einem Außenhaupt, einer Schleusenkammer und einem Binnenhaupt.

Die beiden Häupter mit Ihren Schleusentoren stellen dabei die jeweilige Begrenzung zur Einmündung der Elbe bzw. zum NOK dar.

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt nachfolgend auf dem Bau und den damit verbundenen Herausforderungen des Außenhauptes, welches die Schleuse zur Elbe abgrenzt, dem sogenannten BT 01.



Abb. 2: Lage des 5. Schleusenkammer in Brunsbüttel, zwischen den bereits vorhandenen Schleusen, Quelle WSA Brunsbüttel

Durch die bereits vorhandenen Schleusen (die beiden großen Schleusen im Norden und die beiden kleinen Schleusen im Süden) ist eine Zufahrt zur Baustelle über Land nicht möglich. Sämtliche Transporte müssen über den NOK abgewickelt werden. Hierzu wurde eigens eine baustelleneigene Fähre in Betrieb genommen, über die jegliche Geräte- und Materialtransporte abgewickelt werden. Die Dauer einer Fährfahrt beträgt hierbei ca. 15 Minuten, wobei diese alle 40 Minuten von dem Festland am östlich der Baustelle gelegenen Ostermoorweg ablegt.

Der fortschreitende Rückbau der Schleuseninsel stellt bei dem Bau der Schleusenkammer eine besondere logistische Herausforderung dar, da mit dem Projektfortschritt immer weniger Fläche für Geräte und Materialien zur Verfügung steht.

Besondere Erwähnung findet hier noch die Notfallrettung, da auch Rettungssanitäter bzw. die Feuerwehr die Insel nur über die Fährverbindung erreichen können. Dies erfordert eine

entsprechende Koordinierung der unterschiedlichen Beteiligten wie der Leitstelle oder der Verkehrszentrale NOK.

2. Das Außenhaupt der 5. Schleusenammer

Das Außenhaupt befindet sich im Übergang zur Elbe bzw. der Nordsee und grenzt direkt an die 5. Schleusenammer.

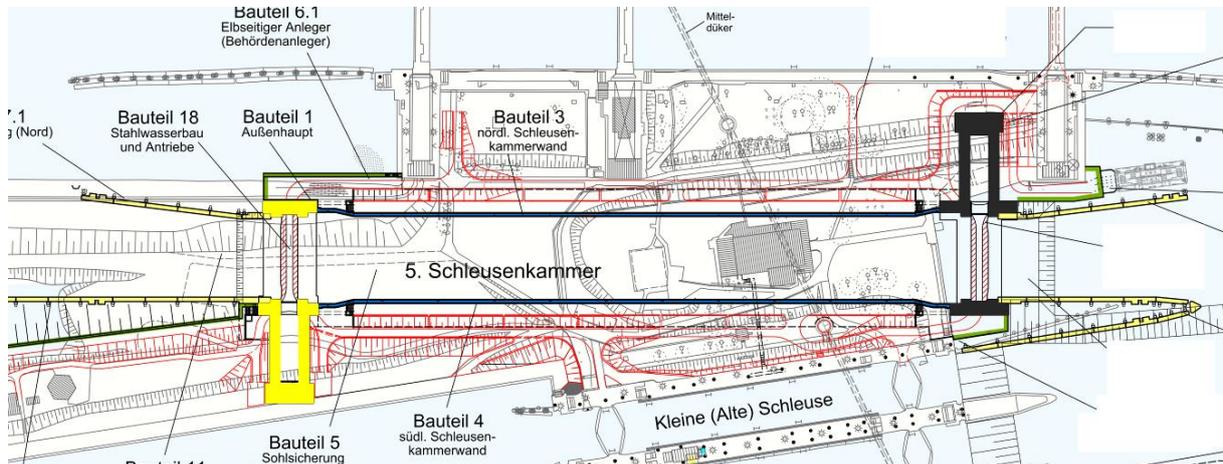


Abb. 3: Lage des Außenhauptes auf der Schleuseninsel. Das Außenhaupt hier in Gelb dargestellt

Die Bestandteile des Außenhauptes lassen sich in drei wesentliche Teile entsprechend ihrer Funktion trennen. Im Falle eines geöffneten Schleusentores (hier wird das Schleusentor in die Torkammer gefahren) stellt der Drempel den Bereich der Schiffsdurchfahrt dar. Im geschlossenen Zustand wird das Schleusentor durch den Massivbau des Toranschlagpfeilers und der Torkammer gestützt. Auf der Torkammer wird das Torhaus gegründet. Hier befindet sich der Steuerstand sowie Antriebsteile des Schleusentores.

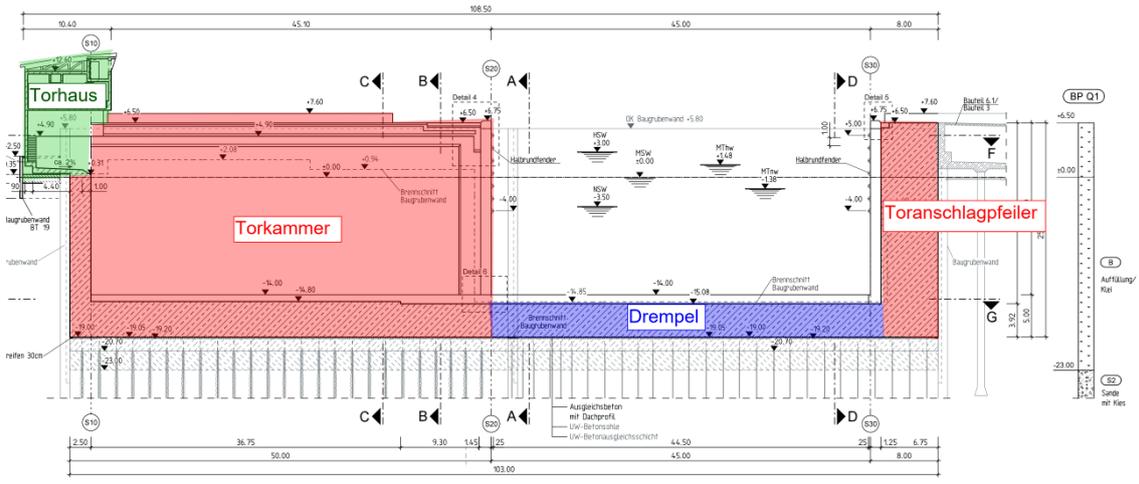


Abb. 4: Längsschnitt des Außenhauptes mit seinen drei wesentlichen Bestandteilen

Für den Bau des Außenhauptes wurden zunächst zwei Baugruben (Torkammer- und Drempelbaugrube) in Schlitzwandbauweise mit eingestellten Spundwandtragbohlen hergestellt. Die anschließenden Massivbauarbeiten wurden in der Torkammerbaugrube begonnen. Dabei teilen

sich die beiden Baugruben eine gemeinsame Verbauwand (die sogenannte „Trennwand Baugrube 1.1/1.2“). Dies ist in Abbildung 5 zu sehen.

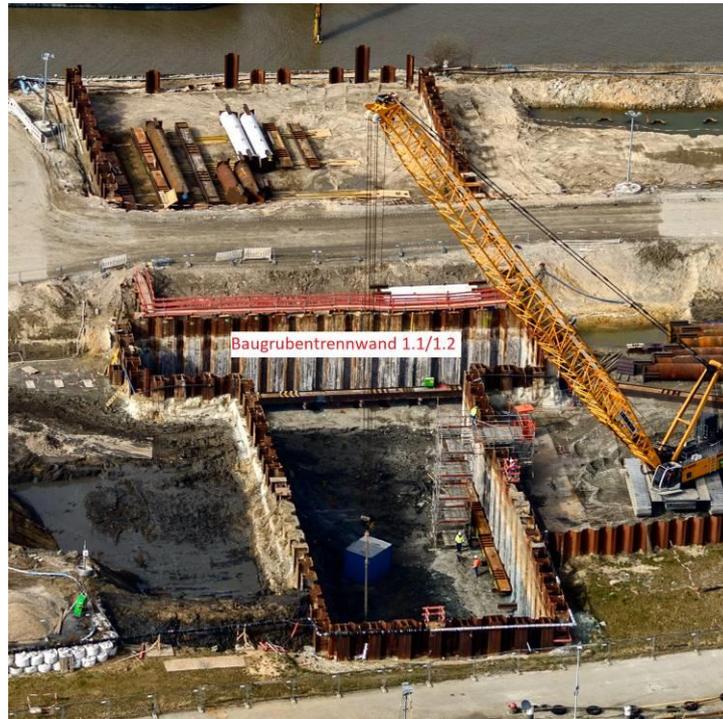


Abb. 5: Außenhaupt zum Zeitpunkt des Einbaus der 1. Steifenlage in Baugrube 1

Nach dem Einbringen der zwei Aussteifungslagen und der Unterwasserbetonsohle wurden nach erfolgtem Lenzen der Baugrube die Sohle und die Wände der Torkammer abschnittsweise in Stahlbetonbauweise hergestellt.

Die Sohle liegt bei -19,0mNHN bis -14,8mNHN und die Wände erstrecken sich von -14,8mNHN bis +6,5mNHN. Die Torkammer wird dabei in insgesamt 38 Betonierabschnitten hergestellt. Die durchschnittliche Größe der Abschnitte beträgt dabei ca. 260 m³. Die vorhandenen Steifenlagen werden mit dem fortschreitenden Massivbau zurückgebaut. Auf der Seite der Schleusenkammer wurde ein Leitungstunnel gebaut, der neben der offenen Verlegung der Leitungen auch als Zuwegung zwischen Torhaus und Abstiegsbauwerk dient. Über das Abstiegsbauwerk können Leitungen zwischen Torkammer und Toranschlagpfeiler unter dem Schiffsverkehr durch den Drempel geführt werden.

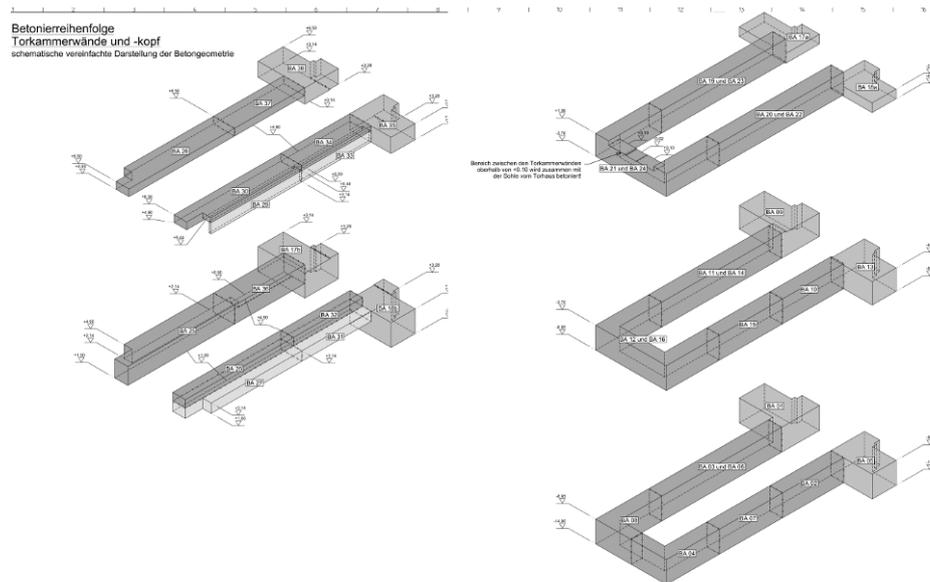


Abb. 6: Betonierabschnitte der Torkammer des Außenhauts

Insgesamt werden folgende Hauptmaterialien für die Herstellung des Außenhauts eingesetzt.

- Ca. 8.000 m² Schlitzwand mit 5.900 to eingestellten Trag- und Füllbohlen (größtenteils HZ 1180M mit Füllbohlen AZ 26)
- Ca. 940 to Gurtungen und Rohrsteifen (zumeist doppelt HEM 1000 als Gurtung und Rohre RO 1320x25mm als Steifen) für die Aussteifungen der Baugruben
- Ca. 65.000 m³ Bodenaushub (im Wesentlichen Auffüllung/Klei)
- Ca. 9.000 m³ Betonausgleichsschicht und UW-Beton in insgesamt 4 Abschnitten
- Ca. 562 Stück GEWI Ø63,5mm Auftriebspfähle (Pfahllänge gesamt ca. 16.000m)
- Ca. 4.300 to Bewehrungsstahl, ca. 30.000 Lentons
- Ca. 6.500 m² Schalung (im Wesentlichen einhäuptig) für die Herstellung von ca. 26.000 m³ Konstruktionsbeton

3. Besondere Herausforderungen bei der Herstellung des Außenhauts der 5. Schleusenkammer

Logistik bei einer Betonage der Stahlbetonsohle mit ca. 2700m³

Aufgrund der einzigen Möglichkeit der Andienung der Baustelle mittels der baustelleneigenen Fähre und den damit einhergehenden Herausforderungen für Transportbeton, wurde für die Herstellung des Betons ein eigenes Mischwerk auf der Schleuseninsel errichtet.



Abb. 7: Betonage der Massivbausohle mittels 3 Stück 52m Betonpumpen.

Die Andienung der Zuschlagstoffe auf die Schleuseninsel erfolgt mit Hilfe von Transportschiffen. Zement und Flugasche werden mit LKW über die Fähre angeliefert.

Bei der Betonage des ersten Teils der Torkammersohle mussten ca. 2700 m³ Beton eingebaut werden. Der Beton wurde hier in ca. 35h mit einem Personaleinsatz von je 20 Mitarbeitern in Tag- und Nachtschicht eingebaut. Aufgrund der langen Umsetzzeiten der Betonpumpe (die obere Steifenlage liegt ca. 18m oberhalb des Betons) und der großen Fläche, wurde ein Beton mit einem Verzögerer von 6h eingesetzt.

Um die 3 Betonpumpen mit einer Reichweite von 52m anzudienen, wurden während des laufenden Baustellenbetriebs durchgehend 9 Betonfahrzeuge mit einem Fassungsvermögen von 9m³ eingesetzt.

Sicherstellung des Hochwasserschutzes von Schleswig-Holstein

Das Außenhaupt bzw. seine Baugruben übernehmen für die Zeit der Herstellung der 5. Schleusenkammer die Funktion des Hochwasserschutzes. Dabei muss zu jeder Zeit das Hochwasserschutzziel von +5,8mNHN sichergestellt sein. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, können die Verbauwände im Bereich der Aufweitung der Torkammer nicht parallel zurückgebaut werden. Stattdessen wurde zunächst die elbseitige Verbauwand gekappt und der Massivbau hergestellt. Nach der Betonage der elbseitigen Torkammer auf die finale Höhe von +6,5mNHN konnte dann die Verbauwand auf der Seite der Schleusenkammer gekappt werden.

Dieser Umstand musste bei der Festlegung der Arbeitsfugen und der Baureihenfolge im Massivbau berücksichtigt werden.

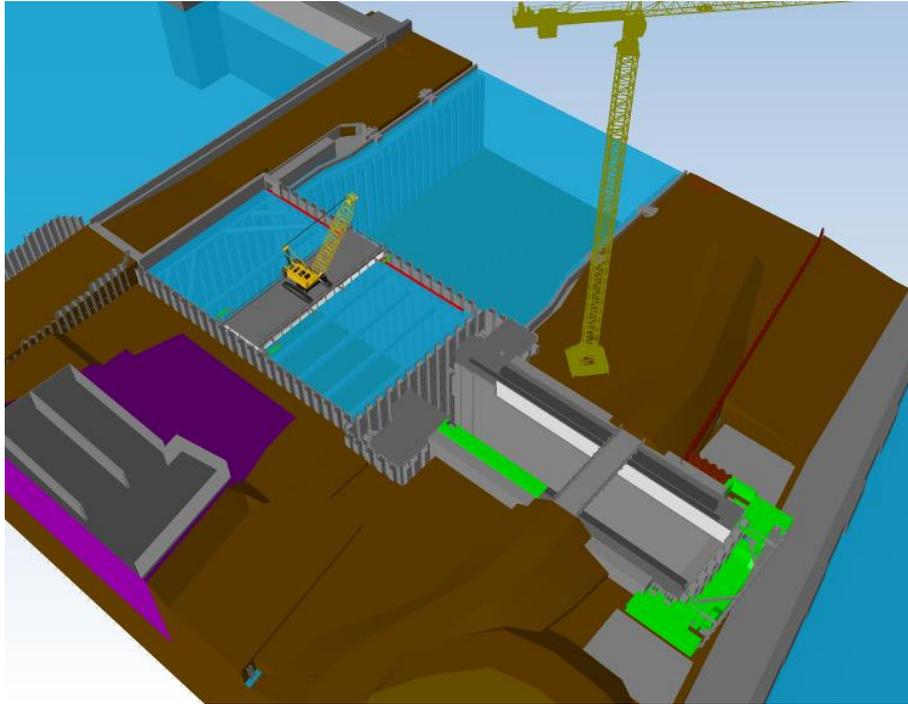


Abb. 10: Lage der Behelfsbrücke BT 109 auf dem Massivbau im BIM-Modell

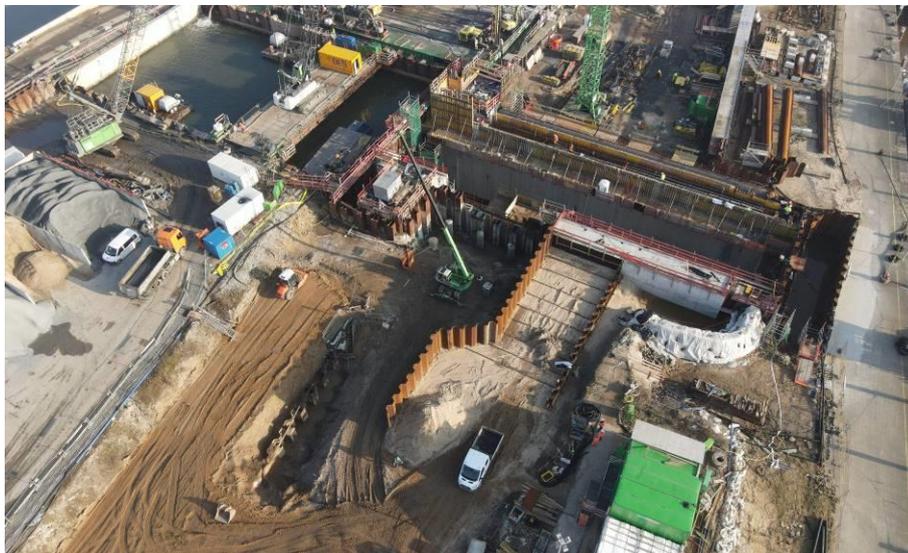


Abb. 11: Fangedamm für die Behelfsbrücke zur Herstellung des weiteren Massivbaus

Wechselwirkungen zwischen den beiden Baugruben - Umsteifungen

Die beiden Baugruben (Torkammer und Drempe) teilen sich eine gemeinsame Verbauwand (die Baugrubentrennwand 1.1/1.2), weisen aber unterschiedliche Baufortschritte auf, da die Baugrube 1.2 bis zur Fertigstellung einer nördlichen Umfahrung noch als Überfahrt zum Betonmischwerk diente. Die Belastung aus Hochwasser in der Elbeinmündung und dem noch anstehenden Boden in der Drempebaugrube 1.2 auf die Baugrubentrennwand wurde durch die Rohrsteifen über die südliche Verbauwand der Baugrube 1 abgetragen.

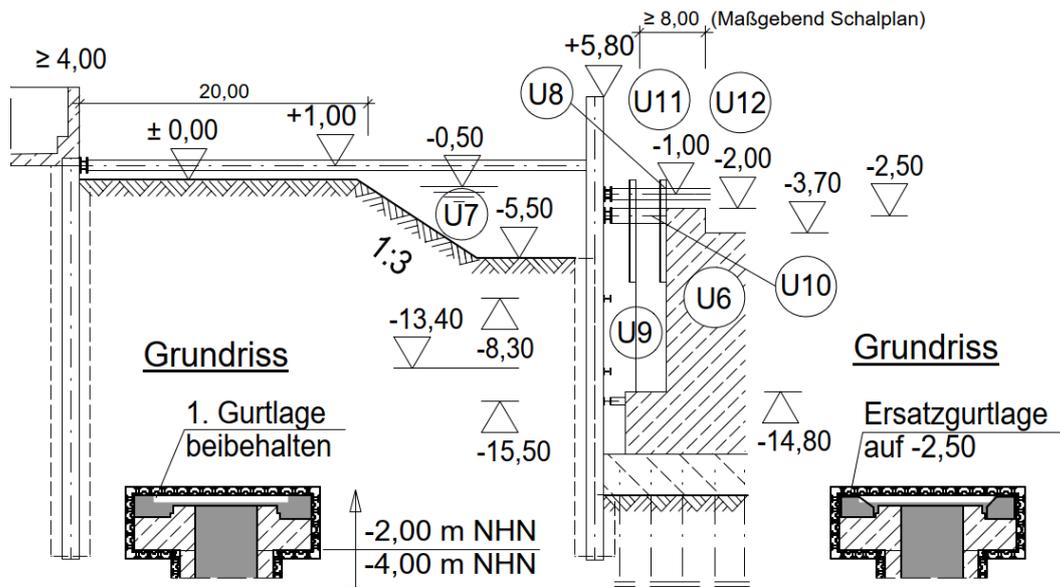


Abb. 12: Schnitt des Außenhaupt während des Ausbaus der Steifenlage in der Torkammerbaugrube

Beim Ausbau der 1. Steifenlage in der Torkammerbaugrube 1.1 wurde zuerst der Massivbau bis direkt unterhalb der Steifen eingebaut (auf eine Höhe von -2,0mNHN). Hierbei wurden diverse Einbauteile mit einem Einzelgewicht von bis zu 500 kg einbetoniert. Anschließend wurden massive Vertikalträger aus Stahl vor den Massivbau installiert, um den Höhenunterschied des Massivbaus und der Steifen auszugleichen (die Steifenlage ist auf -1,0mNHN). Für eine Entlastung der Rohrsteifen wurden danach mehrere Hydraulikpressen (mit bis zu 1000 to Druckkraft) eingesetzt. Diese Pressen lagen zwischen der Gurtung der 1. Steifenlage und den Vertikalträgern. Die Vertikalträger haben dann den Druck an den bereits vorhandenen Massivbau abgeleitet. Durch den Pressenvorgang konnte die 1. Steifenlage nahezu lastfrei ausgebaut werden.



Abb. 13: Herstellung des Massivbaus direkt unterhalb der 1. Aussteifungslage

4. Stand der Arbeiten und Ausblick

Bis heute (März 2022) sind die Arbeiten in der Baugrube der Torkammer im Wesentlichen abgeschlossen. In der Drempeibaugrube wurde der Aushub auf Endtiefe (-23,0mNHN) abgeschlossen. Nach der Herstellung der GEWI Auftriebspfähle erfolgt noch die Betonage des Unterwasserbetons in zwei Teilen mit einer Gesamtdicke von 3,7m.

Kurz bevor steht außerdem der Start der Herstellung des Torhauses, in dem die Antriebstechnik des Schleusentors eingebaut wird. Der elbseitige Fangedamm für die Behelfsbrücke wurde erfolgreich hergestellt und der Einbau der Behelfsbrücke steht kurz bevor. Nach dem Rückbau der Baugrubentrennwand zwischen Torkammer- und Drempelbaugrube und der anschließenden Herstellung des Massivbaus folgt der Einbau des Stahlwasserbaus (Schienenkonstruktion, Antriebsteile und die Anschläge für das Tor) in Torkammer und Drempel.

Für einen Rückbau der Verbauwände im Drempel muss zuerst der anstehende Boden zwischen den Anker ausgehoben werden. Anschließend können zuerst die Anker und anschließend die Verbauwand ausgebaut werden. Die mit Dichtwandmasse gefüllten Tragbohlen mit einem Einzelgewicht von ca. 40 to müssen nachfolgend mit schwimmendem Hebegerät ausgebaut werden, damit anschließend das Schleusentor in seine planmäßige Position eingeschwommen werden kann.

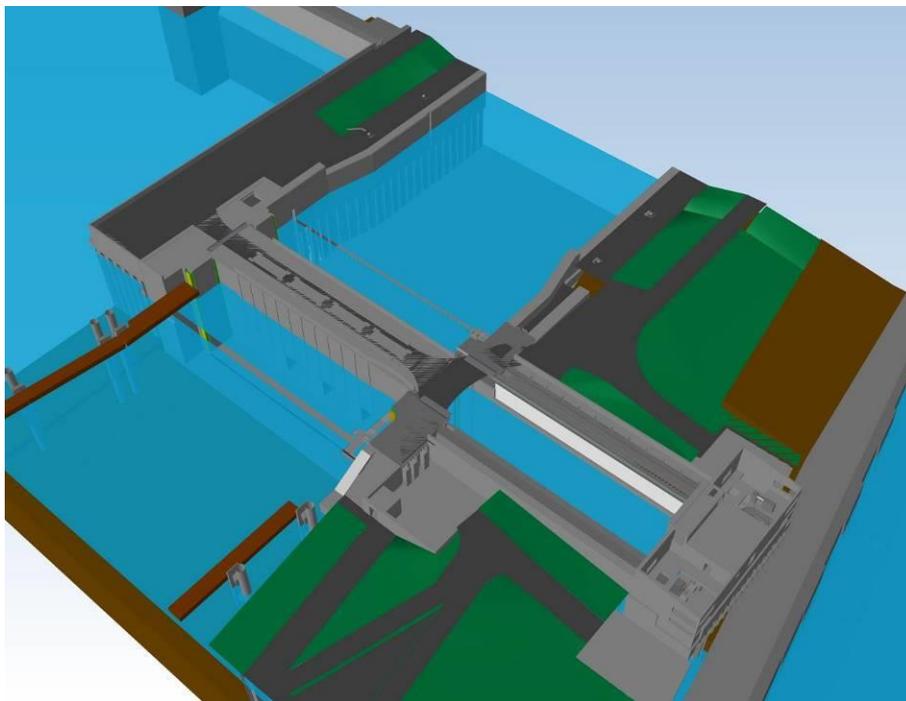


Abb. 14: Fertiggestelltes Außenhaupt mit geschlossenem Schleusentor im BIM-Modell

GEDACHT. GEPLANT. GEBAUT.

Von unserem Team.

Erneuerung des OB-Karl-Lehr-Brückenzugs, 2. Bauabschnitt

© GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG

Richtfeuerlinie Blankenese – Deutschlands vierthöchster Leuchtturm

Dr.-Ing. Raabe, E., Dipl.-Ing. Gutbrod, B.
Hamburg Port Authority, Hamburg

Im Rahmen der Fahrrinnenanpassung der Elbe wird die Fahrrinne in der Begegnungsbox auf 385 m verbreitert. Die einlaufenden Schiffe fahren zukünftig 125 m weiter südlich. Daher muss die Richtfeuerlinie verschoben und zwei neue Richtfeuertürme errichtet werden. Das 200 t schwere neue Oberfeuer mit Fahrstuhl und Schwingungsdämpfer ist mit 62,25 m das Viert-höchste in Deutschland. Das Unterfeuer steht im Wasser auf einem Caisson aus 12 Pfählen mit Spundwand-Füllbohlen.

Die besonderen Herausforderungen des Projektes waren: - Die präzise Positionierung der Türme. Die beengte Lage am Elbhang, die Nähe von Wohnbebauung. - Das Erfordernis von erschütterungsarmen Bauverfahren. Wiederholte Aufhebung der Vergabeverfahren. In der Folge die Aufteilung in sieben Lose mit hohem Koordinationsaufwand. - Die zeitgleiche Fertigstellung von Ober-, Unterfeuer, zwei Quermarkenfeuern, sowie direkt nachfolgend der Rückbau der alten Richtfeuer. Am Unterfeuer wurde für die Pfahlherstellung zunächst ein Hüllrohr hochfrequent einvibriert und von innen ausgegrieffert. Dann wurde das Tragrohr eingestellt, der Pfahlfuß ausbetoniert und das Hüllrohr gezogen. Für die präzise Positionierung der Pfähle im Wasser verwendete das Bauunternehmen eine große Hubinsel mit einer Rohrführung.

Da das Oberfeuer direkt am Hang steht, musste zunächst eine Arbeitsebene mit Hilfe einer Trägerbohlwand hergestellt werden. Der Hang wurde vermessungstechnisch überwacht. Für die Montage war eine komplexe Reihenfolge von Arbeitsschritten notwendig, um mit den knappen Baustellenflächen auszukommen.

Corona hat die Aufgabe vor große Herausforderungen gestellt, aber das Projekt konnte ohne Reibungsverluste umgesetzt werden. Die Türme stehen und werden von den Blankenesern als ihr neues Wahrzeichen mit Begeisterung angenommen.



[Richtfeuerlinie Blankenese in Bau]

Ein Krangigant im Seehafen Rostock

Dipl.-Ing. T. Retzlaff, INROS LACKNER SE, Rostock

Das neue und gleichzeitig höchste Wahrzeichen von Rostock wurde 2019 im Seehafen Rostock errichtet – der Liebherr TCC Kran am Liegeplatz 14/15. Als verfahrbarer, schienengebundener Kran können auf einer Schienenlänge von ca. 420 m Schwerlasten gehoben und transportiert werden. Er ermöglicht einen direkten Umschlag auf Schiffe und Transportbargen als auch Spezialhübe zum Aufbau von Schwerlast-Deckkränen für Offshore Montageschiffe.

Der Kran hat eine Spurweite von 30 Meter, eine Turmhöhe von ca. 108 Meter, eine Auslegerhöhe von 164 Meter.

Für diese sehr hohen Lasten mussten die Kranbahnbalken neu errichtet werden. Die Kranschienen wurden auf Grund der extremen Lasten als gebogene Doppelkranschienen A150 weltweit erstmalig in der Form ausgeführt.

1. Einleitung

Der schienengebundene Schwerlastportalkran TCC 78000 von Liebherr kann das Gewicht von bis zu 1600 Tonnen heben, ist 164 Meter hoch und wiegt 5500 Tonnen. Vom Werksgelände am Pier III ist der Kran bis an die Kaikante am Liegeplatz 14 verfahrbar und nutzbar. Mit diesem Schwerlastkran der Extraklasse wird die Infrastruktur im Seehafen Rostock erheblich aufgewertet.

INROS LACKNER war für die Planung der Flächen am Kai in Vorbereitung der Montage des etwa 43 Millionen Euro teuren Krans verantwortlich. Unter anderem wurden zwei Kranbahnbalken für das fahrbare System mit Bohrpfählen tiefgegründet. Insgesamt waren es 825 Bohrpfähle, die zwischen 18 und 23 Meter lang sind. Dimensionen, die entsprechend der Größe und Funktion des Krans besondere Anforderungen an die Planung stellten.



Abb. 1 Schwerlast – Umschlag mit dem TCC – Kran im Mai 2020 (© EEW)

2. Errichtung

Unmittelbar an dem vorhandenem Schwerlastliegeplatz 14/15 erfolgte die Integration einer Schwerlast – Kranbahn für den TCC Kran. Im Wesentlichen wurde in 3 Bauabschnitten die Tiefgründung in die Kaianlage integriert, so dass gleichzeitig die Montage des Kranes stattfinden konnte.



Abb. 2 Feierliche Inbetriebnahme der Anlage im August 2019 (© Liebherr)

Für die Gründung der Anlage wurden umfangreiche Bohrpfähle eingebracht, um Kranecklasten von 3.600 Tonnen sicher in den Baugrund einzuleiten. Neben den Gründungsarbeiten, die aufgrund der zeitlichen Brisanz des Vorhabens mit mehreren Liebherr – Großbohrgeräten gleichzeitig stattfanden, erforderte die Gründung umfangreiche Stahlbetonarbeiten. Darüber hinaus musste die vorhandene Kaiplatte im Kai nahen Bereich aus dem Bestand heraus modifiziert werden.



Abb. 3 Herstellung der Bohrpfahlgründung und Stahlbetonarbeiten

3. Planung und Berechnung

Die Planung des Kranes wurde von Liebherr selbst durchgeführt. INROS LACKNER ist für die technische Planung der Krangründung verantwortlich gewesen.

Aufgrund der anstehenden Baugrundbedingungen, welche uns als Planer der ursprünglichen Gebietserweiterung im Seehafen Rostock bestens bekannt waren, wurde schnell klar, dass eine Tiefgründung mittels Bohrpfählen erfolgen sollte. Darüber hinaus hätte eine Flachgründung die notwendige Verformungsbegrenzung unterhalb des Fahrwerkes des Kranes nicht einhalten können.

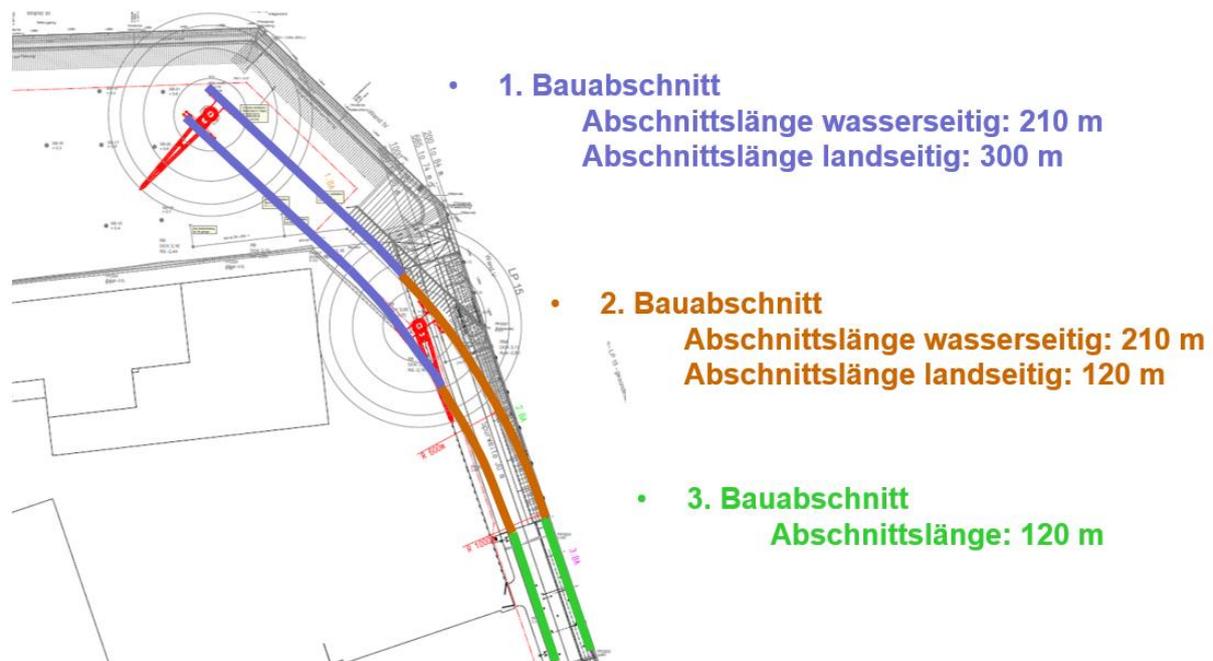


Abb. 4 Planerische Einteilung der Bauabschnitte

Der Planungsbereich liegt in einem Hafen- Erweiterungsbereich, der Jahre zuvor für die Gewerbeansiedlung von Liebherr hergestellt wurde. Dieser Bereich ist geotechnisch durch unterlagernde sehr feste Geschiebemergellagen, auf denen Weichschichten unterschiedlicher Mächtigkeiten und einer später geschaffenen Sanderverfüllung gekennzeichnet. Die sehr hohen Lasten aus den Verkehrslasten des Kranes sind folglich in den unterlagernden Geschiebemergel abzuleiten gewesen.

Mit dieser Anforderung wurde jedoch gleichzeitig auch klar, dass die Bohrgeräte in der Herstellung in der Lage sein mussten, diesen Geschiebemergel anzubohren, um sicher eine Gründung zu gewährleisten, die nur minimale Verschiebungen am Kopf zulässt.

Entsprechend der statischen Anforderungen wurde eine doppelreihig gegründete, im Radius verlaufende Kranbahn konzipiert (s. Abb. 5). Der Aufbau erfolgte als massiver Stahlbetonoberbau, auf den jeweilig eine doppelte Kranschiene herzustellen war.

Planerisch musste besonderes Augenmerk auf die Festlegung des Schienensystems gelegt werden. Das System ist eines der Superlative, es ging nicht größer! Gewählt wurde eine

Doppelschiene Typ A 150 in der besten verfügbaren Materialstärke auf einem kontinuierlich gelagerten System (s. Abb. 6). Mehr ging nicht!

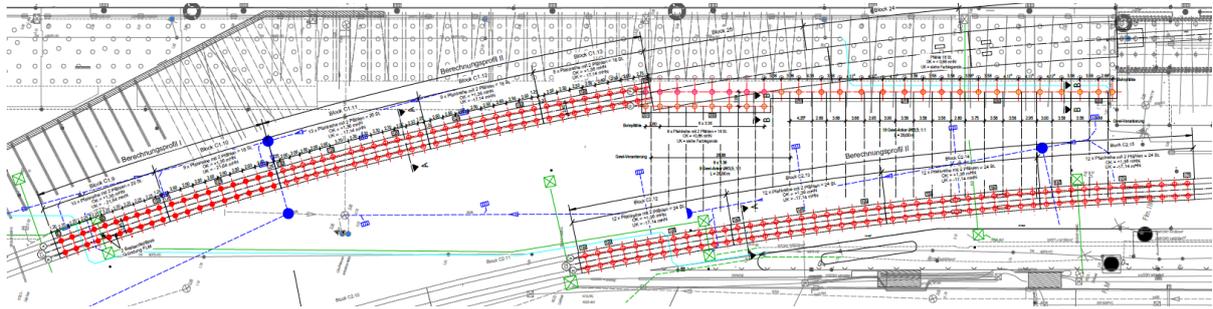


Abb. 5 Ausschnitt zum Lageübersichtsplan Gründung 2. Bauabschnitt

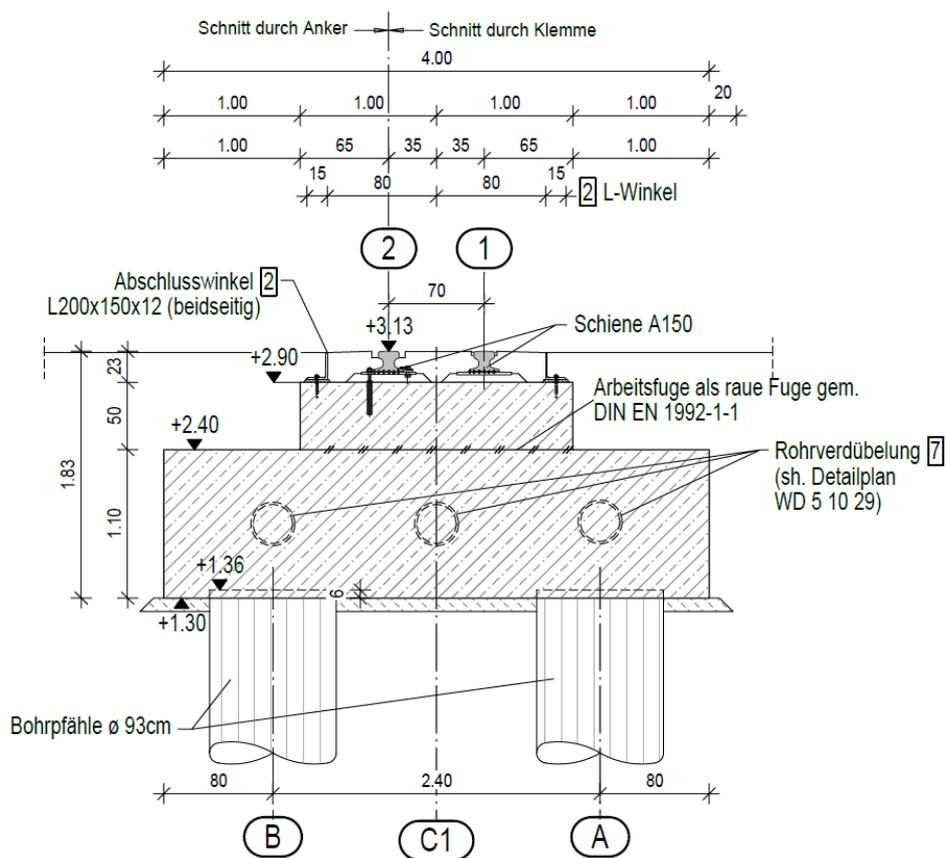


Abb. 6 Regelquerschnitt Kranbahnbalken mit doppeltem Kranschienensystem

Insgesamt waren ca. 1.010 m Kranbahnbalken in folgenden Massen herzustellen:

- 6200 m² Unterbeton
- 10.000 m³ Beton und 3200 t Betonstahl
- Tiefgründung auf ca. 825 Bohrpfählen Ø93, 1670 t Betonstahl
- 2170 m Kranschiene A 150
 - als Doppelschiene mit Fahrradius 630 m außen und 600 m innen
 - Längsneigung der Schienen max. 0,083% d.h. auf 100 m Länge nur 8,3 cm zulässiger Höhenunterschied

4. Ausführung Kranschiene

Die Ausführung der Kranschiene als Doppelschiene im Radius in der Größenklasse A 150 ist weltweit einmalig. Die Schiene musste zusätzlich zur Vorverformung noch kontinuierlich verschweißt werden.

In der Bauausführung erwies sich die radiale Ausführung als äußerst anspruchsvoll, da sich die Grundplatte der Schiene im Biegevorgang immer verwölbt. Selbst kleinste Millimeter Distanzen mussten vor Ort über Passbleche unterstopft werden, da rechnerisch nachgewiesen wurde, dass die Schiene bei der Belastung aus dem Kran bei einer Spannweite von ca. 28 cm brechen wird. Die Abb. 7 zeigt die notwendige händische Unterplattung auf der kontinuierlichen Schienenlagerung.



Abb. 7 Kranschienensystem A 150 mit Unterfütterung

Das Ergebnis konnte sich sehen lassen: eine Kranbahn, die dem Kran ermöglicht, unmittelbar 4 m hinter der Kaikante einen 1.600 Tonnen Lasthub durchzuführen.



Abb. 8 Fahrwerk des TCC während des Umschlages (© EEW)

Anpassung des Systems Schiff/Wasserstraße an den Klimawandel

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann, Dr.-Ing. Sven Wurms, Fabian Beimowski, M. Sc.,
Hauke Stachel, M. Eng., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Die veränderten Klimabedingungen werden künftig gravierende Auswirkungen auf das Wasserdargebot in den Wasserstraßen haben. Vermehrte und anhaltend extreme Wetterereignisse sind zu erwarten, verbunden mit häufigeren und extremeren Hoch- und Niedrigwasserereignissen. Für die Schifffahrt auf den frei fließenden Wasserstraßen relevant sind in erster Linie lang anhaltende extreme Niedrigwasserperioden. Bereits heute stehen Handlungsoptionen zur Anpassung des Systems Schiff/Wasserstraße an die Folgen des Klimawandels zur Verfügung, die einzeln oder kombiniert auch künftig wirtschaftliche und zuverlässige Schiffstransporte möglich machen. Eine Option ist, Entscheiden aus Politik, Verwaltung, Unternehmen und Gesellschaft umfassende, aktuelle, belastbare und widerspruchsfreie Informationen zu den Folgen des Klimawandels bereitzustellen. Hierzu wird mit dem DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ ein operationeller staatlicher Vorhersage- und Projektionsdienst eingerichtet. Eine weitere Option besteht in der Möglichkeit, der Schifffahrt aufgrund des geringeren Verkehrsflächenbedarfs im Niedrigwasserfall einen sogenannten Niedrigwasserkorridor bereitzustellen, der natürliche Übertiefen der Gewässersohle ausnutzt.

1. Einleitung

Der kürzlich veröffentlichte 6. Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC, der den Wissensstand zum fortschreitenden Klimawandel bezogen auf Treibhausgase, Temperaturentwicklung, Niederschlag, Extremereignisse, Gletscherschmelze und Meeresspiegelanstieg beschreibt, zeichnet ein düsteres Bild. Im Tenor kommt der Bericht zu dem Ergebnis, dass die Auswirkungen des Klimawandels früher eintreten und sich stärker zeigen werden als bisher angenommen (IPCC, 2021). Der IPCC-Bericht ist ein dringender Appell, die bisherigen Anstrengungen für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel zu verstärken. Dies gilt gleichermaßen auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene.

Bereits im Jahr 2009 haben das heutige Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und seine wissenschaftlichen Einrichtungen, namentlich der Deutsche Wetterdienst (DWD), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), damit begonnen, die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Schifffahrt und Wasserstraßen zu untersuchen und Anpassungsstrategien zu entwickeln (BMVI, 2015). Extremwetterereignisse, wie die monatelang anhaltende Trockenheit im Jahr 2018, die die Schifffahrt auf dem Rhein nahezu zum Erliegen gebracht hat, oder die Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im Sommer 2021, die zu großem menschlichen Leid und hohen materiellen Schäden geführt hat, unterstreichen die Bedeutung und die Dringlichkeit einer vorsorgenden Klimaanpassungsstrategie.

Die veränderten klimatischen Bedingungen werden künftig zu einer Zunahme von Extremwetterlagen und -perioden führen. Die Folge ist ein verändertes Wasserdargebot in den Wasserstraßen,

verbunden mit häufigeren und extremeren Hoch- und Niedrigwasserereignissen. Dies wiederum hat Auswirkungen auf die Gewässermorphologie. Änderungen in Wasserdargebot und Gewässermorphologie führen dazu, dass die Regelungswirkung der Flussbauwerke abnimmt mit der Folge veränderter Fahrrinnen- und Abladeverhältnisse. Hierdurch werden Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der Schifffahrt beeinträchtigt. Negative Auswirkungen für die Wirtschaftsstandorte sind die Folge. Für die Schifffahrt relevant sind in erster Linie lang anhaltende extreme Niedrigwasserperioden. Hochwasserereignisse führen dagegen im Regelfall nur zu kurzen Sperrzeiten.

Als Referenzgröße für die klimabedingte Entwicklung des Niedrigwasserabflusses in den Bundeswasserstraßen wird nachfolgend der heute gültige Gleichwertige Abfluss $GIQ_{20(2012)}$ (im Folgenden kurz: GIQ) herangezogen. Dieser Abfluss ist ein für einzelne Wasserstraßenabschnitte charakteristischer Niedrigwasserabfluss, der statistisch betrachtet an 20 eisfreien Tagen im Jahr unterschritten wird. Abb. 1 zeigt für das Bundeswasserstraßennetz die klimabedingte Zunahme der Unterschreitungstage, getrennt für die Zeiträume 2031 bis 2060 (nahe Zukunft) sowie 2071 bis 2100 (ferne Zukunft). Als Klimaszenario wird mit RCP 8.5 ein „Weiter-wie-bisher-Szenario“ angenommen. Von besonderem Interesse ist die Entwicklung für den verkehrsreichen Rhein. Trotz des ungünstig angenommenen Klimaszenarios steigt die Zahl der Unterschreitungstage am Rhein für den ersten Zeitraum nur moderat an. Dagegen nimmt sie für den zweiten Zeitraum signifikant zu.

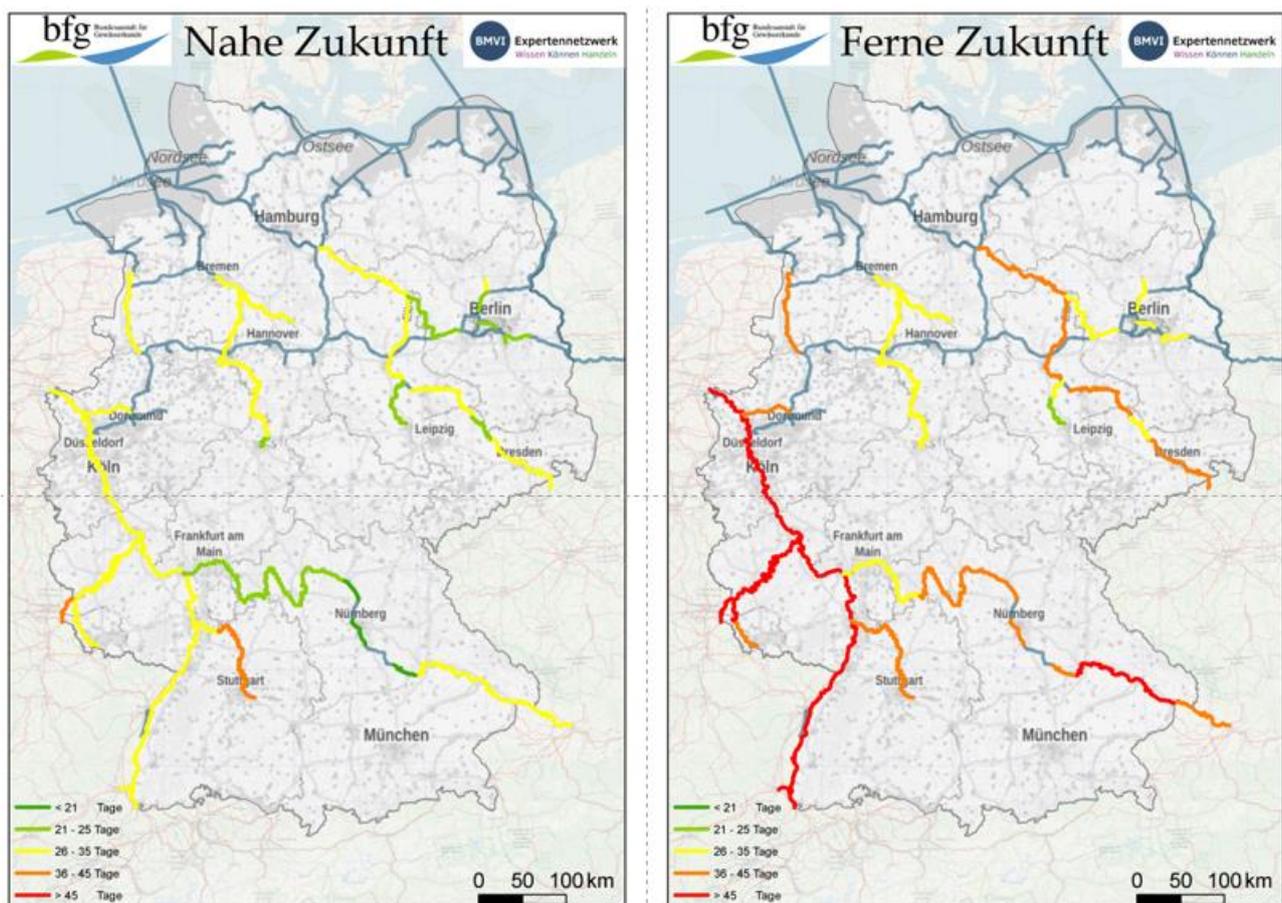


Abb. 1: Klimabedingte Zunahme der Unterschreitungstage für den heutigen GIQ für 2031-2060 (links) und 2071-2100 (rechts), RCP 8.5 (Nilson et al., 2020).

Diese Tendenzen lassen sich auch an den Projektionen für die Entwicklung des Gleichwertigen Abflusses selbst ablesen. Abb. 2 zeigt die Projektion für den am Mittelrhein abladebestimmenden Pegel Kaub (Rhein-km 546,3). Bis Mitte dieses Jahrhunderts bleibt der Wert des heutigen GIQ nahezu unverändert. In der zweiten Hälfte nimmt er deutlich ab und erreicht zum Ende des Jahrhunderts etwa den Wert, der beim Niedrigwasserereignis 2018 beobachtet wurde. Mit anderen Worten: Als Folge des Klimawandels kann auf längere Sicht der Ausnahmefall 2018 zum Regelfall werden, dem mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden muss.

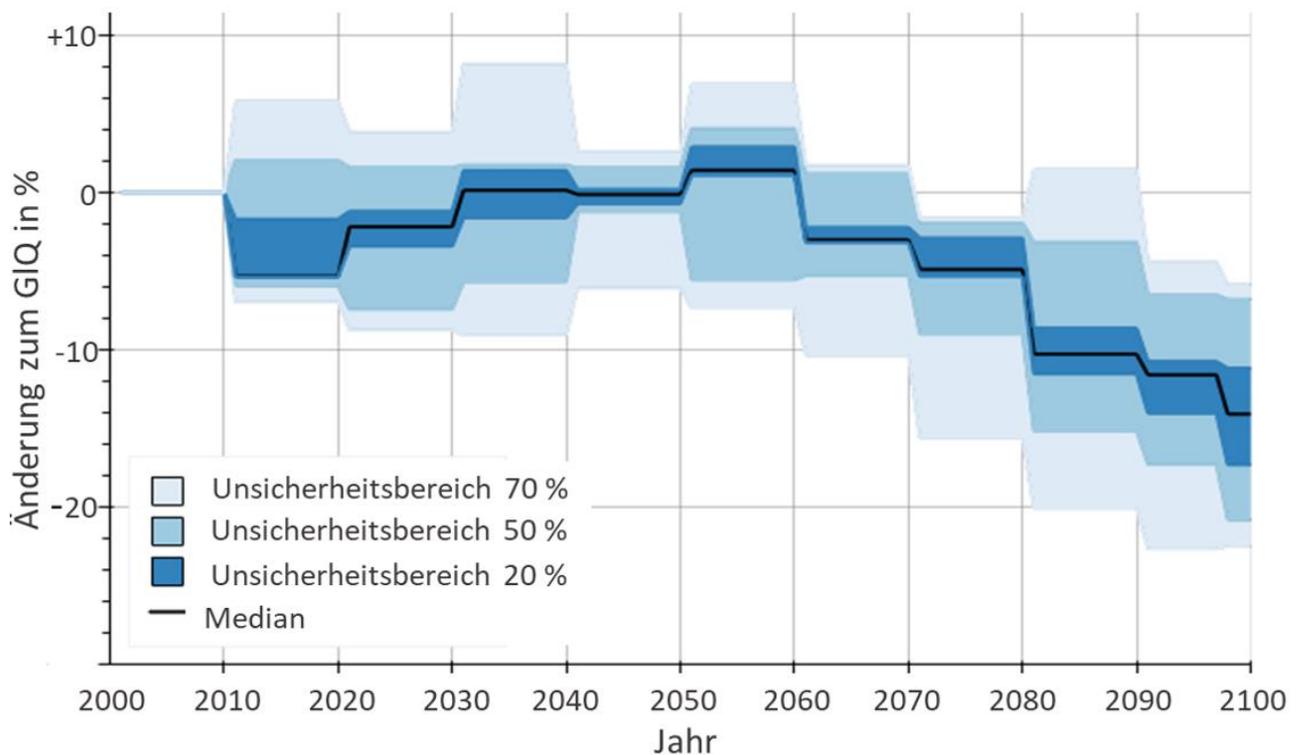


Abb. 2: Klimabedingte Abnahme des GIQ am Pegel Kaub, RCP 8.5 (Datenquelle: BfG im Rahmen des DAS-Basisdienstes „Klima und Wasser“).

Bereits heute stehen Handlungsoptionen zur Anpassung des Systems Schiff/Wasserstraße an die Folgen des Klimawandels zur Verfügung, die einzeln oder kombiniert auch künftig wirtschaftliche und zuverlässige Schiffstransporte möglich machen (Tab. 1).

Informatorische Ansätze	Regulatorische Ansätze	Ingenieurtechnische Ansätze	Operatives Management der Verkehrsinfrastruktur	Operatives Management des Verkehrsbetriebs
Entwicklung zentraler Dienste zur Bereitstellung von Klimadaten z. B. Wasserstandsvorhersagen verbessern, DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ einrichten	Anpassung von Regelwerken und Bemessungsgrundlagen	Bauliche Anpassungsmaßnahmen z. B. flussbauliche Regelungselemente entwickeln	Angepasstes Management und Handlungsempfehlungen z. B. aktuelle Tiefeninformationen bereitstellen	Anpassungsmaßnahmen seitens der Infrastrukturnutzer z. B. Transportkonzepte anpassen, Technik optimieren

Tab. 1: Anpassungsoptionen an den Klimawandel (Norpoth et al., 2020).

Eine Handlungsoption zielt auf Anpassungsmaßnahmen seitens der Infrastrukturnutzer ab. Einzelne Unternehmen haben bereits reagiert und passen ihre Flotte z. B. durch flachgehende Schiffe an, die auch bei extremen Niedrigwasserständen wirtschaftliche Transporte erlauben. Die anderen Optionen richten sich an staatliche Institutionen und umfassen Änderungen an den Wasserstraßen. Diese reichen von verbesserten Wasserstandsvorhersagen über die Anpassung von Regelwerken und Bemessungsgrundlagen sowie die Bereitstellung aktueller Tiefeninformationen der Wasserstraße bis hin zu ingenieurtechnischen Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. flussbauliche Regelungsmaßnahmen. Nachfolgend werden der DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ sowie die flussbauliche Regelung in Form des Niedrigwasserkorridors näher beschrieben.

2. DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“

Als einen Baustein der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) richten das BMDV und seine wissenschaftlichen Einrichtungen DWD, BfG, BAW und BSH derzeit mit dem DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ einen operationellen staatlichen Vorhersage- und Projektionsdienst ein. Ziel ist es, Entscheidern aus Politik, Verwaltung, Unternehmen und Gesellschaft umfassende, aktuelle, belastbare und widerspruchsfreie Informationen zu den Folgen des Klimawandels bereitzustellen.

Der DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ (www.das-basisdienst.de), dessen Aufbau schrittweise erfolgt, stellt ein Portfolio an aufeinander abgestimmten Informationen und Datenprodukten zu den Auswirkungen des Klimawandels zur Verfügung. In der aktuellen Aufbaustufe fokussiert das Produktangebot auf die Themen Atmosphäre, Küste und Ästuar, Meer, Gewässer und Wasserstraßen. Die Ergebnisse können von Akteuren aus unterschiedlichen Handlungsfeldern, beispielsweise im Rahmen von Klimawirkungsanalysen oder zur Entwicklung potenziell erforderlicher Anpassungsmaßnahmen, verwendet werden. Mit Blick auf das klima- und umweltfreundliche Verkehrssystem Schiff/Wasserstraße leistet der DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ einen wichtigen Beitrag, um den Verkehrsträger Wasserstraße robust gegenüber den Folgen des Klimawandels zu machen.

Der Beitrag der BAW an der Einrichtung des DAS-Basisdienstes „Klima und Wasser“ besteht darin, Konzepte und Methoden zur qualitativen und quantitativen Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserstraßen zu entwickeln. Hinzu kommt die Bereitstellung von Daten und Informationen zur Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis, insbesondere im Rahmen der Climate-Proofing-Aktivitäten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

Die Entwicklung von Konzepten und Methoden erfolgt seit dem Jahr 2009 im Rahmen von Forschungsprogrammen, wie KLIWAS und BMDV-Expertennetzwerk, in denen eine intensive Vernetzung zwischen den Partnerinstitutionen DWD, BfG, BAW und BSH entstanden ist. Dies spiegelt sich auch in der Modellkette wider, die alle Glieder vom IPCC-Szenario bis hin zu hydrodynamischen, fahrdynamischen oder ökologischen Modellen der Bundeswasserstraßen abdeckt. Die auf Basis der globalen IPCC-Szenarien vom DWD betriebenen regionalen Klimamodelle stellen hochauflösende und somit regional differenzierte Klimadaten zur Verfügung. Darauf aufbauend werden von der BfG unter Verwendung von Wasserhaushaltsmodellen pegelbasierte Abflussprojektionen erstellt (vgl. Abb. 2). Diese dienen als Randbedingungen für die hydrodynamisch-numerischen Modelle der BAW, deren Ergebnisse die zukünftig zu erwartenden hydraulischen Verhältnisse, z. B. in Form von Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten und deren Veränderungen bei charakteristischen Abflüssen

beschreiben. Diese Ergebnisse dienen der BAW schließlich dazu, die Betroffenheit der Schifffahrt unter den Gesichtspunkten der Befahrbarkeit bei Extremwetterereignissen und der Entwicklung von Transportmengen infolge veränderter klimatischer Bedingungen zu quantifizieren.

Um die hydrodynamischen Informationen und Datenprodukte der BAW einem breit angelegten Nutzerkreis auf einfachem Wege zugänglich zu machen, wurde in Vorbereitung auf den DAS-Basisdienst mit dem sogenannten Dashboard Hydrodynamik prototypisch ein browserbasiertes und umfassend interaktives Portal entwickelt (Abb. 3). In diesem Pilotsystem, das exemplarisch für den Mittel- und Niederrhein entwickelt wurde, können z. B. die hydrodynamischen Parameter in Abhängigkeit der unterschiedlichen Klimaszenarien „Klimaschutz“ (RCP 2.6), „Moderat“ (RCP 4.5) und „Weiter-wie-bisher“ (RCP 8.5) für Projektionszeiträume bis zum Ende des 21. Jahrhunderts kartografisch dargestellt werden. Es lassen sich die Werte im Browserfenster auslesen und automatisiert Berichte zu den klimabedingt veränderten hydraulischen Größen für den ausgewählten Abschnitt der Wasserstraße erstellen.

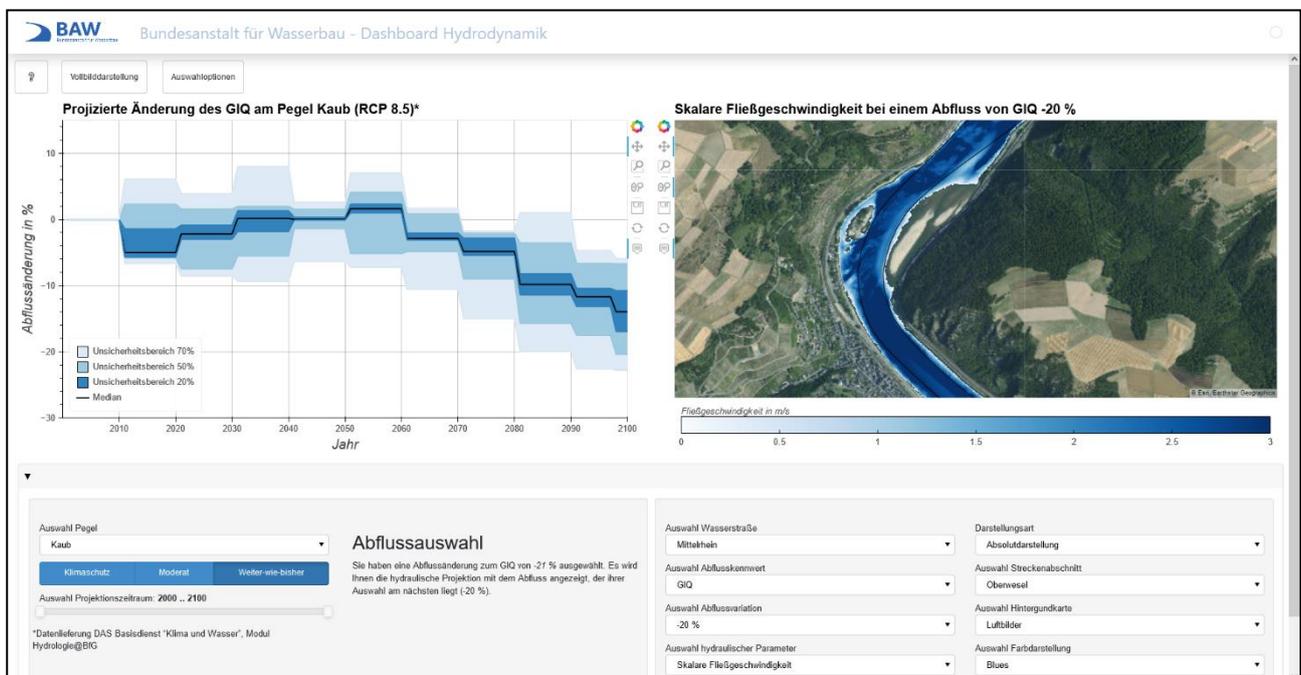


Abb. 3: Screenshot des Dashboards Hydrodynamik der BAW. Das Beispiel zeigt skalare Fließgeschwindigkeiten, die bei einem Abfluss von GIQ – 20 % auftreten.

Auf der Basis der Informationen zu Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsrichtungen können mit Hilfe fahrdynamischer Betrachtungen die Breiten- und Tiefenansprüche des fahrenden Schiffs abgeleitet sowie anschließend unter Einbeziehung von Verkehrsdatenanalysen und Verkehrssimulationen eine Abschätzung veränderter Gütertransportmengen und -kapazitäten vorgenommen werden. Abb. 4 zeigt beispielhaft die klimabedingten Änderungen der Transportmengen am Mittelrhein, berechnet für 16 Abflussprojektionen aus dem RCP 8.5-Ensemble, getrennt für die Zeiträume 2031 bis 2060 (nahe Zukunft) sowie 2071 bis 2100 (ferne Zukunft). Den Berechnungen liegt die Annahme einer gegenüber heute unveränderten Flottenstruktur zu Grunde, um explizit den Einfluss klimabedingt veränderter Abflüsse herauszustellen.

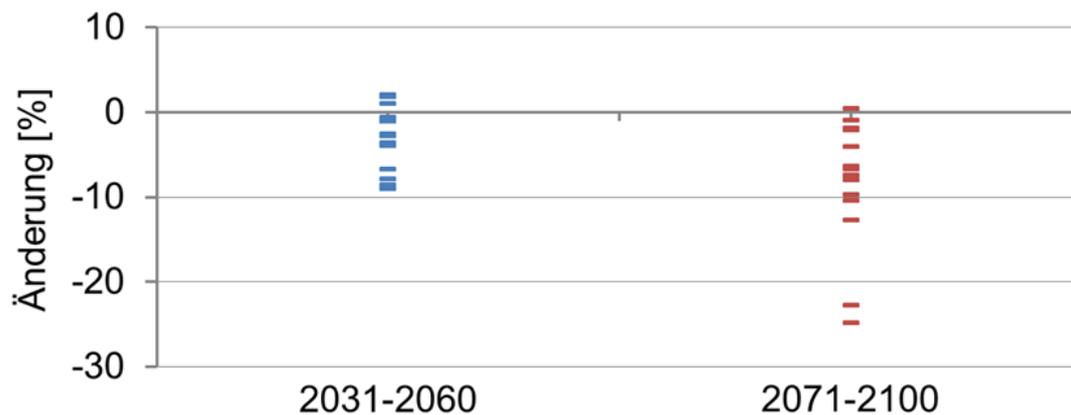


Abb. 4: Klimabedingte Änderungen der Transportmengen am Mittelrhein für die Zeiträume 2031–2060 (nahe Zukunft) und 2071–2100 (ferne Zukunft).

Eine Herausforderung bei der Interpretation von modellierten und projizierten Daten ergibt sich daraus, dass den Modellen, Modellensembles und Projektionen Unsicherheiten inhärent sind. Diese Unsicherheiten pflanzen sich entlang der gesamten Modellkette fort, beginnend mit den Klimadaten des DWD über die hydrologischen Daten der BfG bis hin zu Ergebnissen aus der hydrodynamisch-numerischen Modellierung und der anschließenden Ableitung fahrdynamischer Parameter der BAW. Eine praxisnahe Möglichkeit im Umgang mit solchen Unsicherheiten ist die Betrachtung bestimmter Wahrscheinlichkeitsbänder, wie sie in Abb. 2 in unterschiedlichen Blautönen dargestellt sind. Durch die Eingrenzung des Modellensembles vom 15. bis zum 85. Perzentil werden die projizierten Abflusswerte in ihrer Aussagekraft gestärkt (Nilson et al., 2020). Im Umkehrschluss bleiben die im oberen und unteren Extrembereich liegenden 15 % der in den Modellensembles projizierten Abflusswerte unberücksichtigt.

Bereits in der aktuellen initialen Aufbauphase liefert der DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“ ein breites Spektrum an fundierten Informationen über die Auswirkungen des Klimawandels und bietet darüber hinaus auch Grundlagen für weitere Handlungsoptionen. So können beispielsweise ingenieurtechnische Anpassungsoptionen auf ihre Eignung und Wirksamkeit unter künftigen klimatischen Randbedingungen untersucht werden, wie es das nachfolgend beschriebene Konzept des Niedrigwasserkorridors verdeutlicht.

3. Niedrigwasserkorridor

Flussbauliche Maßnahmen zur Anpassung an die Klimafolgen haben das Ziel, die nautisch nutzbare Wassertiefe bei Niedrigwasserabfluss zu erhöhen. Dies kann durch Stützung des Wasserspiegels, durch Vertiefung der Flusssohle oder durch geeignete Kombination beider Maßnahmen erfolgen. Klassische flussbauliche Maßnahmen umfassen den Bau oder die Anpassung von Buhnen und Parallelwerken, die Verfüllung von Übertiefen sowie den Sohlenabtrag durch Baggerungen, die in felsigen Abschnitten ggf. mit Fräsung oder Meißelung kombiniert werden. Diese klassischen Maßnahmen sind in weiten Bereichen der frei fließenden Wasserstraßen zielführend. Mitunter stoßen sie aber auch an Grenzen, wenn z. B. ihre Hochwasserneutralität nicht sichergestellt werden kann. Für diesen Fall wurden bereits im Rahmen des KLIWAS-Forschungsprogramms innovative flussbauliche Konzepte entwickelt, die einerseits die Regelungsziele erfüllen und andererseits geringe Auswirkungen auf Wasserwirtschaft und Umwelt haben.

Das Konzept des Niedrigwasserkorridors beruht darauf, dass bei extrem niedrigen Abflüssen der Verkehrsflächenbedarf der fahrenden Schiffe geringer ist als bei höheren Abflüssen. Damit muss die Fahrrinne für die Begegnungsfahrt nicht über die gesamte Breite vertieft werden. Darüber hinaus können natürlich vorhandene Übertiefen an der Gewässersohle genutzt werden (Abb. 5).

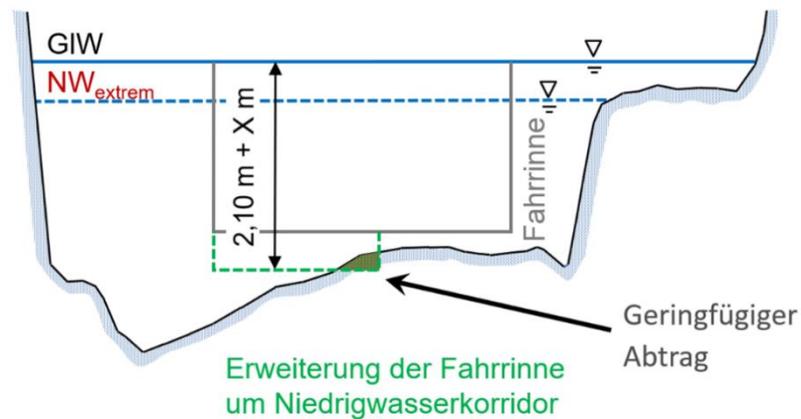


Abb. 5: Schematische Darstellung des Niedrigwasserkorridors.

Die bereits für den Begegnungsfall reduzierte Breite kann nochmals deutlich verringert werden, wenn der Niedrigwasserkorridor für die Richtungsfahrt dimensioniert wird. Maßgebend hierfür ist die Fahrt zu Berg, da die dynamische Einsinktiefe der Schiffe in der Bergfahrt größer ist als in der Talfahrt.

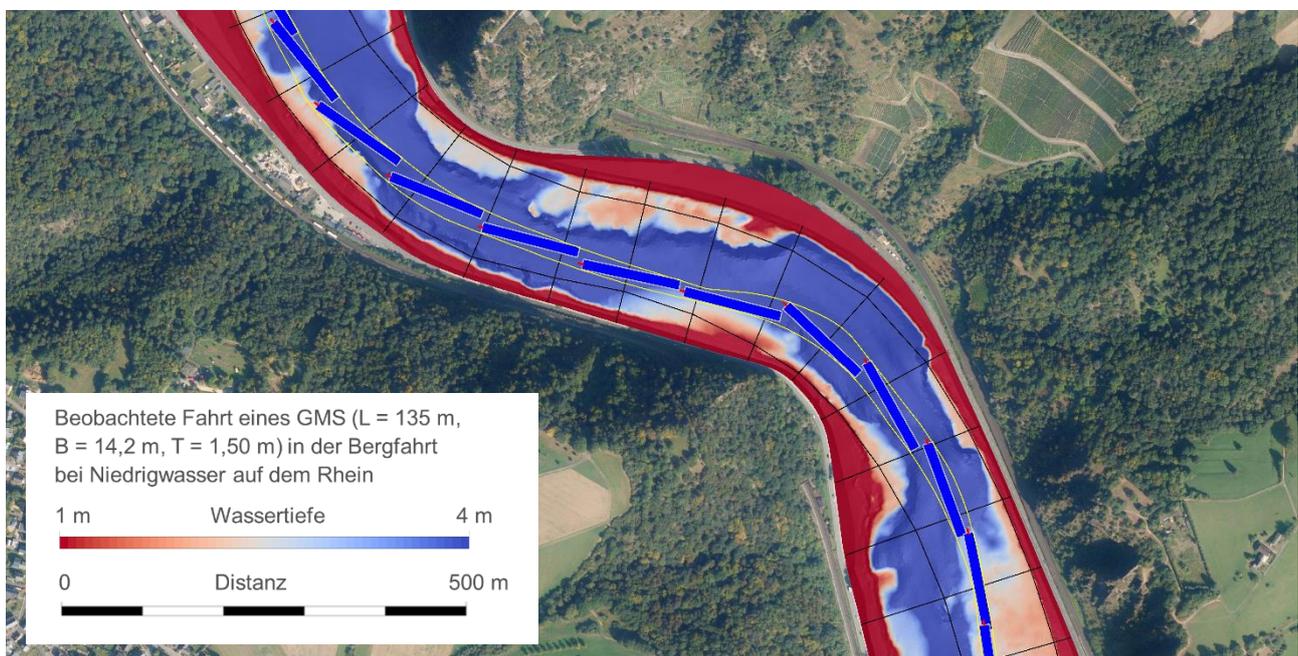


Abb. 6: Beobachtete Bergfahrt eines 135 m langen Großmotorgüterschiffes bei Niedrigwasserabfluss (Quelle Luftbild: GeoBasis-DE / BKG).

Abb. 6 zeigt die beobachtete Bergfahrt eines 135 m langen Großmotorgüterschiffes für den Mittelrhein im Bereich der Loreley vom Oktober 2018. Das Schiff war hierbei nur mit etwa 20 % seiner maximalen Tragfähigkeit beladen, was einer Abladetiefe von etwa 1,50 m entspricht. Der Abfluss

betrug $550 \text{ m}^3/\text{s}$ und entsprach damit dem minimalen Abfluss, der im Niedrigwasserjahr 2018 gemessen wurde. Das Schiff beansprucht nur rund 30 % der heutigen Fahrrinnenbreite. Um künftig die gleichen Abladebedingungen wie beim heutigen GIQ von $784 \text{ m}^3/\text{s}$ zu ermöglichen, müsste für den Abfluss von $550 \text{ m}^3/\text{s}$ in diesem Bereich ein Niedrigwasserkorridor vorgehalten werden, der rund 50 cm unterhalb der heutigen Fahrrinne liegt. Unter Berücksichtigung der in diesem Rheinabschnitt natürlich vorhandenen Übertiefen ergeben sich daraus nur geringe Baggervolumina mit entsprechend geringen Folgen für Wasserwirtschaft und Umwelt.

4. Literaturverzeichnis

BMVI (2015): KLIWAS. Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVI.

IPCC (2021): Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte, V. et al. (Hrsg.): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Nilson, E. et al. (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks.

Norpoth, M. et al. (2020): Konzeptionelle Beiträge zur Auseinandersetzung mit der Anpassung des Bundesverkehrswegesystems an den Klimawandel. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Anpassungsoptionen (SP-107) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks.

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann

Dr.-Ing. Sven Wurms

Fabian Beimowski, M. Sc.

Hauke Stachel, M. Eng.

Bundesanstalt für Wasserbau

Kußmaulstr. 17

76185 Karlsruhe

Anpassung von See- und Binnenhäfen an den Klimawandel – PIANC EnviCom Arbeitsgruppe 178 und HTG Arbeitsgruppe KlimaHafen

Prof. Dr.-Ing. B. Koppe, Hochschule Wismar
Dipl.-Ing. L. Lankenau, bremenports GmbH & Co. KG, Bremerhaven

Angesichts des immensen Schadenspotenzials ermöglicht das Verständnis und die zeitige Berücksichtigung der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels durch Hafenbehörden, Hafenplaner, Terminal- und allgemein Anlagenbetreiber erhebliche langfristige Kosteneinsparungen. Der von der PIANC-EnviCom Arbeitsgruppe 178 entwickelte vierstufige Anpassungsplanungsprozess von Häfen an den Klimawandel wird ebenso vorgestellt wie Ergebnisse des in 2021 an der Hochschule Bremen abgeschlossenen Forschungsprojekts PortKLIMA und die aktuellen und geplanten Arbeiten der HTG-Arbeitsgruppe 'KlimaHafen'.

1. Einleitung

Die deutschen Seehäfen mit ihrer Lage an der Schnittstelle von Meer und Land werden in besonderer Weise von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Hierzu zählen neben dem Meeresspiegelanstieg und dessen Auswirkung auf Tide- und Seegangsdynamik insbesondere die Zunahme von extremen Temperatur- und Niederschlagsereignissen sowie mögliche Änderungen der Sturmintensität bzw. –aktivität. Auch in den deutschen Binnenhäfen mit ihrer Lage an großen europäischen Flüssen werden Klimawandelprozesse zunehmend Planung und Betrieb beeinflussen. Insbesondere zu nennen sind hier eine Zunahme von Extremwetterlagen, ein verändertes Wasserdargebot in den Häfen (Niedrigwasser, Hochwasser), eine veränderte Gewässermorphologie an den Ein- und Ausfahrten sowie veränderte Abladeverhältnisse in den Wasserstraßen.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel bestehen grundsätzlich die folgenden zwei Aufgabenfelder:

- Klimaschutz, um das Ausmaß des Klimawandels so gering wie möglich zu halten
- Klimawandelanpassung, um sich an die unausweichlichen Folgen des Klimawandels so gut wie möglich anzupassen

In dem im Jahr 2020 veröffentlichten Bericht der PIANC-EnviCom Working Group 178 'Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways' (PIANC 2020) wird das Thema Klimawandelanpassung adressiert. Der Bericht enthält Empfehlungen zur Entwicklung einer Anpassungsstrategie von Häfen weltweit.

Empfehlungen, die sich speziell auf die Verhältnisse in Deutschland beziehen, existieren bisher nicht. Aus diesem Grund wurde im Januar 2022 die HTG-Arbeitsgruppe 'Klimawandelanpassung von See- und Binnenhäfen in Deutschland' gegründet, der aktuell etwa dreißig KollegInnen aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften angehören. Vorarbeiten zu diesem Themenfeld erfolgten in dem im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel DAS geförderten Forschungsprojekt PortKLIMA, das von 2018 bis 2021 durch die Autorinnen des vorliegenden Beitrags an der Hochschule Bremen mit Unterstützung von bremenports und in Kooperation mit den Hafenverwaltungen sieben deutscher Seehäfen an Nord- und Ostsee durchgeführt wurde.

2. PIANC-Leitfaden 'Klimawandelanpassung für Häfen und Wasserstraßen'

Der frei im Internet verfügbare PIANC-Leitfaden 'Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways' (PIANC 2020) beinhaltet in einem vierstufigen Prozess Empfehlungen für ein mögliches Vorgehen zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Häfen und Wasserstraßen, wobei die jeweils relevanten Interessengruppen einzubinden sind (Abbildung 1).



Abb. 1 Die vier Stufen des Klimaanpassungs-Planungsprozesses (nach: PIANC, 2020)

In Stufe 1 werden mögliche vom Klimawandel betroffene kritische Anlagen, hafenbezogene Tätigkeiten und Systeme sowie Abhängigkeiten identifiziert, deren Gefährdung aufgezeigt und relevante Akteure bestimmt, um anschließend Anpassungsziele zu definieren. Darauf folgend wird in Stufe 2 ermittelt, welche historischen und zukünftigen Klimainformationen zur Einschätzung der potentiellen Betroffenheit benötigt werden, um diese Daten dann zusammenzustellen, vorliegende Daten zu analysieren und/ oder weitergehend benötigte Daten zu erheben. Basierend auf den Ergebnissen der ersten beiden Stufen wird in Stufe 3 die Verwundbarkeit der kritischen Anlagen, Tätigkeiten und Systeme gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels ermittelt und eine Bewertung des Risikos durchgeführt. In Stufe 4 werden Anpassungsmaßnahmen anhand eines Portfolios ausgewählt und Möglichkeiten für deren Bewertung und Umsetzung mithilfe eines adaptiven Hafenmanagements vorgestellt.

Im Forschungsprojekt PortKLIMA wurde der vierstufige PIANC-Klimawandel-Anpassungsplanungsprozess für Seehäfen an der deutschen Nord- und Ostseeküste angewandt. Tabelle 1 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an Stufe 3 des PIANC-Leitfadens. Unter Ansatz eines ungünstigen Emissionsszenarios (Weiter-wie-bisher-Szenario - etwa repräsentativer Konzentrationspfad RCP8.5) ist für die ferne Zukunft (2071 bis 2100) von einer signifikanten Zunahme der Gefährdung infolge extremer Hitze, Meeresspiegelanstieg und Starkregen sowie von einer Zunahme der Sturmintensitäten und, je nach Lage, Seegangbelastungen auszugehen. Bei der Beurteilung der zu erwartenden Verwundbarkeit stehen ebenfalls die Wirkungen des Meeresspiegelanstiegs im Vordergrund, gefolgt von extremer Hitze und Starkregenereignissen. Es ist zu beachten, dass die Aussagen maßgebend von den individuellen Gegebenheiten vor Ort wie Freibord, örtliche Windwirklänge und geographische Ausrichtung der Landanlagen abhängig sind und somit praxistaugliche Ergebnisse nur konkret für einzelne Hafenstandorte oder auch Hafenanlagen zu erzielen sind.

Tabelle 1: Ergebnis einer übergeordneten Verwundbarkeitsanalyse für Seehäfen in Deutschland in Anlehnung an PIANC (2020) für die ferne Zukunft und das Weiter-wie-bisher-Szenario (Koppe, Lankenau, 2021)

Beispiele relevanter Klimaparameter und -prozesse → Beispiele kritischer Anlagen, Tätigkeiten, Systeme ↓	Im Vergleich zu historischen Daten, <u>wie verändert sich die Gefährdung</u> aufgrund der potentiellen Klimagefahren innerhalb des Planungshorizonts					Unter Berücksichtigung relevanter Schwellenwerte und vorhandener Anpassungskapazitäten, <u>wie verändert sich wahrscheinlich die Verwundbarkeit?</u>				
	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen	Extreme Hitze	Meeresspiegel	Sturmintensität	Seegang	Starkregen
Zufahrt zum Liegeplatz - Fahrrinne	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↓ ¹	↑	⇒/↑ ²	⇒
Schleusen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ³	↑	⇒/↑ ²	⇒
Kaianlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ³	↑	⇒/↑ ²	⇒
Sonstige Landeanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ⁴	↑	⇒/↑ ²	⇒
Vertäu- und Festmacheinrichtungen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ³	⇒/↑ ⁵	⇒/↑ ²	⇒
Anlegen, Be- und Entladen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ ³	↑	⇒/↑ ²	↑↑
Umschlaggeräte	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ ³	↑	⇒	⇒
Hochwasserschutzanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ³	↑	⇒/↑ ²	⇒
Lagerflächen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒/↑ ⁶	⇒/↑ ³	↑	⇒	⇒/↑ ³
Lagerhallen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ ³	↑	⇒	⇒/↑ ³
Straßen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒/↑ ⁶	⇒/↑ ³	⇒	⇒	⇒/↑ ³
Gleisanlagen	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ ³	⇒	⇒	⇒/↑ ³
Entwässerungssysteme	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	⇒	⇒/↑ ³	⇒	⇒	↑↑
Gebäude	↑↑	↑↑	↑	↑	↑↑	↑↑	⇒/↑ ³	↑	⇒	⇒/↑ ³

¹ Je nach Entwicklung des Sedimenttransports
² In Abhängigkeit relevanter Wellenhöhen –größere relative Änderungen bei größeren Wellenhöhen
³ In Abhängigkeit der Lebensdauer und des vorhandenen Freibords/ der Höhenlage/ der Topographie
⁴ Je nach Anlage und Lebensdauer/
⁵ Je nach Ausrichtung der Kaianlage relativ zur maßgeblichen Windrichtung
⁶ Je nach Belag (Asphalt, Beton, Pflaster) und Lebensdauer

Auf Basis der Gefährdungs- und Verwundbarkeitsanalyse der Stufe 3 werden in Stufe 4 Anpassungsoptionen ausgewählt, bewertet und umgesetzt. Der PIANC-Leitfaden bietet ein nach Klimaparameter und Klimaprozessen gegliedertes Maßnahmen-Portfolio, wobei die enthaltenen Maßnahmen physischer, sozialer und institutioneller Art sind. Tabelle 2 zeigt eine Auswahl allgemeiner Anpassungsmaßnahmen. Weitere, nach Auswirkungen – beispielsweise niederschlags- und sturmflutbedingte Überschwemmungen oder Hitzewellen – sortierte Maßnahmen sind im Anhang des Leitfadens aufgelistet. Das Portfolio ist als Ideengeber zu verstehen, es handelt sich nicht um eine vollständige Übersicht.

Tabelle 2: Allgemeine Anpassungsmaßnahmen, um die Widerstandsfähigkeit von Anlagen zu stärken in Anlehnung an PIANC (2020) (Koppe, Lankenau, 2021)

Physische Maßnahmen	Soziale Maßnahmen	Institutionelle Maßnahmen
Strukturen, Systeme, Technologien	Menschen, Verhalten, Vorgänge, Informationen	Management, Ökonomie, Vorschriften, Politik
<p>Instandhaltung priorisieren, um die Widerstandsfähigkeit zu maximieren</p> <p>Echt-Zeit Monitoring von Infrastruktur</p> <p>Gefährdete Anlagen und Equipment aus Risiko-Gebieten verlagern</p> <p>In Redundanz, temporäre Infrastruktur oder andere physische Schutzmaßnahmen für kritische Anlagen (inkl. Strom- und Wasserversorgung) investieren</p> <p>Kritische Anlagen stützen, erhöhen, verstärken oder anderweitig schützen oder modifizieren</p> <p>Neue(s) flexible(s) oder demontierbare(s) Infrastruktur oder Equipment installieren oder entwickeln</p> <p>Warnsysteme installieren</p> <p>Ernennung oder Bereitstellung physischer Schutzräume</p> <p>Lagerkapazitäten erhöhen</p> <p>Naturbasierte Lösungen, Working with Nature, Soft Engineering</p> <p>Modifizierung von Material oder Equipment, um es an geänderte Bedingungen anzupassen</p> <p>In SMARTe Technologien investieren</p>	<p>Durchführung von Risikobewertungen zum Klimawandel, Erstellung von Risikokarten</p> <p>Vorbereitung von bzw. Sensibilisierung für Notfall- und Katastrophenschutzpläne</p> <p>Einführung und regelmäßige Überprüfung von Warnsystemen</p> <p>Ausbildung von Mitarbeitern, Akteuren und lokaler Bevölkerung</p> <p>Zusammenarbeit und Koordinierung mit Versorgungsunternehmen und anderen Dienstleistern</p> <p>Verbesserung (oder Einleitung) von Monitoring, Datenspeicherung und Datenmanagement</p> <p>Durchführung von Trendanalysen und Prognosen</p> <p>Überarbeitung von Betriebsanweisungen, Änderung von Arbeitspraktiken, wenn Bedingungen sich ändern</p> <p>Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Planung erlauben (Betriebszeiten, Mitarbeiterplanung, Liegezeiten, Schleusenbetrieb, etc.)</p>	<p>Ausarbeitung einer Anpassungsstrategie</p> <p>Überprüfung und Überarbeitung relevanter Normen, Richtlinien und Merkblätter</p> <p>Überprüfung bzw. Anpassung von Sicherheits- und Gesundheits- Vorschriften</p> <p>Strategien zur Standortverlegung aus Hochrisikogebieten</p> <p>Zusammenarbeit mit Raumordnung, z. B. um Rückzugs- und Pufferzonen einzurichten</p> <p>Begrenzung der Entwicklung neuer Infrastruktur in Hochrisikogebieten</p> <p>Alternative Transportwege und -arten identifizieren, sichern und koordinieren</p> <p>Schutz von gefährdeten Lebensräumen mit Funktion der Risikominderung (z. B. Absorption von Wellenenergie, Erosionsschutz)</p> <p>Gewährung von Zuschüssen oder Anreizen, z. B. für die Entwicklung oder Aufrechterhaltung widerstandsfähiger Infrastruktur</p> <p>Erforschung und Entwicklung neuer Instrumente und Methoden</p>

Bei der Planung der Anpassung an den Klimawandel wird ein 'Pfad' einem festen 'Programm' vorgezogen, denn verbleibende Unsicherheiten machen eine Einschätzung des konkreten Zeitpunkts für eine bestimmte Maßnahme oder auch der in Zukunft tatsächlich vorhandenen Relevanz derselben schwierig bis unmöglich. Die Entwicklung von Anpassungspfaden für jede erwartete klimawandelbedingte Auswirkung auf kritische Anlagen etc. ermöglicht es, den unvermeidlichen Unsicherheiten Rechnung zu tragen. Unter den identifizierten Maßnahmen sind i.d.R. einige relativ einfach und kostengünstig umzusetzen, so genannte 'low-hanging-fruits' und 'no-regret' Maßnahmen. Anfängliche Maßnahmen können mit Gewissheit umgesetzt werden, während der Zeitpunkt und gegebenenfalls die Art zukünftiger Maßnahmen offen gehalten wird. Diese Flexibilität kann entscheidend sein, um Fehlanpassungen zu vermeiden. Bei längerfristig umzusetzenden Maßnahmen können die Überwachung der Anlagenleistung sowie meteorologischer, hydrographischer und/ oder ozeanographischer Daten als Frühwarnsysteme bzw. Indikatoren zum Erreichen kritischer Schwellenwerte dienen. Tabelle 3 zeigt exemplarisch einen solchen Anpassungspfad eines Seehafens bzgl. des Meeresspiegelanstiegs.

Tabelle 3: Beispiel eines Anpassungspfads eines Seehafens bzgl. des Meeresspiegelanstiegs in Anlehnung an PIANC (2020) (Koppe, Lankenau, 2021)

Auswirkung	Maßnahme	Bedingungen, die eine Aktion auslösen	
<i>Anstieg des Meeresspiegels führt zu einer immer häufigeren Überschwemmung eines von zwei Liege- und Umschlagsplätzen von Stückgut im Hafen</i>	1	Erstellung eines Ausweichplans für alternative Anlegemöglichkeiten	Sofort (no regret)
	2	Zustandsüberwachung der Anlage einleiten	Gesicherte Finanzierung
	3	Entscheidung über die Erhöhung der Kaje-Suprastruktur versus Ersatzneubau	Überwachung der lokalen Meeresspiegelanstiegsrate und/ oder der Schwächung der Anlage zeigt an, dass der akzeptable Schwellenwert innerhalb von fünf Jahren überschritten wird.

Neben der theoretischen Beschreibung der Aufstellung eines vierstufigen Anpassungskonzepts enthält der PIANC-Leitfaden sechzehn Fallstudien zur Klimawandelanpassung von Seehäfen weltweit sowie ein Portfolio an Anpassungsmaßnahmen für unterschiedliche Problembereiche wie niederschlags- und sturmflutbedingte Überschwemmungen oder Hitzewellen. Zudem sind dem Leitfaden Vorlagen zur Datenerfassung und Datenaufzeichnung in Phase 1 beigelegt.

3. HTG-Arbeitsgruppe 'Klimawandelanpassung von See- und Binnenhäfen in Deutschland - KlimaHafen'

Die folgenden Themen sollen in der HTG-Arbeitsgruppe 'Klimawandelanpassung von See- und Binnenhäfen in Deutschland - KlimaHafen' mit speziellem Bezug auf deutsche See- und Binnenhäfen im Detail behandelt werden:

- Grundlagen des Themenfelds Klimawandel inklusive Diskussion der systemimmanenten Unsicherheiten
- Forschungsstand Klimawandel mit dem Fokus auf nationale/ regionale Ergebnisse
- Für die Hafenwirtschaft zu erwartende relevante klimatische Änderungen - auf der Basis aktueller Klimaszenarien

- Aus den zu erwartenden klimatischen Änderungen resultierende Folgen für Planung, Bau und Betrieb von See- und Binnenhäfen; hierbei auch die Beschreibung von bereits zu beobachtenden Schäden bzw. Betriebsausfällen aufgrund von Extremwetterereignissen
- Empfehlungen zur Anpassung von Planung und Betrieb von See- und Binnenhäfen an veränderte klimatische Bedingungen
- Fallstudien zur Klimawandelanpassung von See- und Binnenhäfen

Die HTG-Arbeitsgruppe KlimaHafen setzt sich zur Adressierung der unterschiedlichen zu behandelnden Aspekte aus Fachleuten aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften zusammen. Zudem ist eine Kooperation mit anderen Arbeitsgruppen und Fachausschüssen der HTG sowie anderen Fachverbänden vorgesehen. Das innerhalb eines Zeitrahmens von drei Jahren zu erstellende Arbeitsergebnis soll als Empfehlung für in der Hafenwirtschaft in Deutschland Tätige dienen. Der geplante Umfang der Empfehlungen beträgt rund 100 Seiten zzgl. der Fallstudien und Dokumentenvorlagen zur Aufnahme von Daten z.B. zu bereits beobachteten wetterbedingten Betriebseinschränkungen und Schäden an Hafenanlagen

Im Folgenden werden aus der Bearbeitung des Projekts PortKLIMA (Koppe, Lankenau, 2021) abgeleitete Ergebnisse zur Klimawandelanpassung deutscher Seehäfen hinsichtlich relevanter Zeithorizonte und deren Bedeutung für Anpassungsmaßnahmen dargestellt.

Grundsätzlich erfordert die Anpassung an den Klimawandel eine Berücksichtigung langfristiger Zeithorizonte in Planungsprozessen. Planungshorizonte in Häfen decken bisher jedoch häufig nur vergleichsweise kurze Zeithorizonte ab. Bei der Entwicklung eines Maßnahmenplans zur Anpassung an den Klimawandel sind bei der Festlegung des Planungshorizonts die Standzeiten von Anlagen zu berücksichtigen und das Ausmaß der Änderung relevanter Klimaparameter und -prozesse in Relation zu den Standzeiten der Anlagen zugrunde zu legen. Äquivalent ist auch die erforderliche Planungs- bzw. Reaktionszeit für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen.

Tabelle 4 enthält eine Übersicht durchschnittlicher wirtschaftlicher Lebensdauern von Anlagen in Seehäfen. Bei der Planung von Anlagen wie Kaimauern, Hochwasserschutzanlagen und Wellenbrechern sind Planungshorizonte von bis zu 100 Jahren zugrunde zu legen. Aufgrund langfristiger natürlicher Klimaänderungen war und ist es bereits heute üblich, bei Hochwasserschutzanlagen Klimazuschläge bzw. Ausbaureserven vorzusehen, die jedoch bei einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg infolge anthropogenen Klimawandels zu erhöhen sind. Im öffentlichen Hochwasserschutz ist im Jahr 2021 z.B. im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern der anzusetzende Klimazuschlag bei Neuplanungen von Anlagen mit Standzeiten bis 2120 von zuvor 0,50 m auf 1,00 m erhöht worden (LM, 2021). Unter Berücksichtigung entsprechender notwendiger Erhöhungen des Klimazuschlags reichen die zugrunde gelegten Annahmen bei Bestandsbauten ggf. nicht mehr für die geplante lange Standzeit aus und es werden vor Ende der geplanten Lebensdauer Verstärkungen oder ein Neubau notwendig.

Bei Anlagen mit kurzen Standzeiten bzw. Maßnahmen mit kurzen Reaktionszeiten ist es generell einfacher, die Auswirkungen des Klimawandels in der Planung zu berücksichtigen. Maßnahmen können dann umgesetzt werden, wenn sich ein deutlicher Trend abzeichnet und Anlagen bzw. Ausrüstung unabhängig vom Klimawandel zu erneuern sind. Terminals für spezielle Industrien verfügen z.B. oft über recht kurze Standzeiten von bis zu 30 Jahren, da die Anlagen häufiger geänderten wirtschaftlich-technischen Anforderungen anzupassen sind. Allerdings können bereits heute wetterbedingte Ausfälle und Schäden infolge extremer Hitze, Unwetter, Starkregen und Sturm auftreten. Daher können bei hohem Schadenspotential auch bei Anlagen mit kurzen Standzeiten bzw. Maßnahmen mit kurzer

Reaktionszeit bereits heute Anpassungsmaßnahmen an wetterbedingte Extremereignisse sinnvoll sein.

Insbesondere bei Anlagen mit langen Standzeiten oder langen Reaktionszeiten müssen die Auswirkungen des Klimawandels frühzeitig berücksichtigt werden. Ist der potentielle Schaden gering, können Risiken gegebenenfalls hingenommen werden.

Als kritisch einzustufende Anlagen verfügen über wenig bis keine Pufferkapazität bzw. Redundanz, womit deren Ausfall eine Störung der Logistikkette zur Folge hätte. Hierzu zählen - vor allem wenn keine Ausweichstrecken bzw. Ausweichanlagen zur Verfügung stehen - Schleusen, Energieversorgung, Umschlaggeräte, RoRo-Rampen, spezielle Lagerkapazitäten sowie Hochwasserschutzsysteme, deren Versagen großflächige Beeinträchtigungen zur Folge haben.

Tabelle 4: Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer von Anlagen in Häfen - tatsächliche Standzeiten einzelner Anlagen hängen von der individuellen Zustandsbewertung sowie Nutzung ab und können somit auch maßgeblich kürzer oder länger als die durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer sein

Anlage und Ausrüstung	Durchschnittliche wirtschaftliche Lebensdauer (Jahre)
Terminal- und Hafensuprastruktur	Containerbrücke: 20 ¹ , 15 ² Mobilkran: 15 ¹ Portalhubwagen: 6 ³ , 5-10 ¹ RoRo-Rampen: 15 ³ Lager und Hallen: 25 ³ , 40 ¹ ; Beton: 25 ² ; Leichtbau-weise: 10 ²
Beläge	Asphalt: 10-15 ¹ ; Beton: 20 ¹ ; Straßen/ Flächenbefestigungen: 15 ²
Gleisanlagen	Nach gesetzlichen Vorschriften: 25 ² ; sonstige: 12 ²
Entwässerung	Drainagen: 33 ²
Kaimauern	Beton: 40 ³ ; Stahl: 25 ³ Spundwände: 50 ¹ , 20 ² ; überbaute Böschung: 50-100 ¹ , Gummifender: 10 ³ , 10-20 ¹
Hochwasserschutzanlagen	>100 ¹
Wellenbrecher	50 ³ , 100 ¹
Dalben	20 ²
Pontons	Beton: 30 ² ; Metall/ Stahl: 30 ²
¹ Thoresen, 2018; ² BMF, 2021 (AFA-Tabelle des Bundesministeriums für Finanzen); ³ UNCTAD, 1985	

Für die Bemessung von Anlagen und die Einschätzung von Betriebseinschränkungen sind insbesondere extreme Zustände von Interesse. Dabei werden in der Planung häufig Bemessungsparameter anhand von Jährlichkeiten bzw. Wiederkehrintervallen festgelegt, die wiederum anhand von Extremwertverteilungen und aus Ganglinien ermittelter Extremwerte, i.d.R. Jahresmaxima, bestimmt werden. Im Gegensatz dazu wird anhand von Klimamodellen häufig die Änderung bestimmter Schwellenwerte, z.B. jährliches 98-Perzentil, für klimatisch relevante Zeithorizonte untersucht, ohne dabei die Auswirkungen auf die Jährlichkeit zu berücksichtigen. Hierbei ist zu beachten, dass verlässliche Aussagen über die Änderung von Jährlichkeiten besonders seltener Extremereignisse umfangreiche Ensembles benötigen und deren Änderungen auch im Rahmen des Klimawandels nicht pauschal aus Änderungssignalen weniger seltener Extremereignisse abgeleitet werden können (Lang, Mikolajewicz, 2020). Neben den Unsicherheiten in den Klimaprojektionen besteht also noch eine weitere Unsicherheitsquelle infolge der erforderlichen Übertragung der Ergebnisse von Klimaprojektionen auf relevante Bemessungsparameter und betriebliche Schwellenwerte.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem PIANC-Leitfaden 'Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways' liegen seit 2020 allgemeine Empfehlungen zur Klimawandelanpassung in erster Linie von Seehäfen vor. Zudem wurden im Forschungsprojekt PortKLIMA erste Informationen zur Betroffenheit deutscher Seehäfen an Nord- und Ostsee durch den Klimawandel und zur Anpassung an den Klimawandel gesammelt und 2021 im Internet frei verfügbar veröffentlicht. Von besonderer Relevanz für Planung, Bau und Betrieb von Anlagen in Seehäfen insbesondere mit langen Lebensdauern sind die mit dem Klimawandel erwarteten Änderungen der Meeresspiegelanstiegsrate sowie der Intensität und Häufigkeit von Starkniederschlägen und Hitzewellen.

Der Fokus der im Jahr 2022 gegründeten HTG-Arbeitsgruppe 'Klimawandelanpassung von See- und Binnenhäfen in Deutschland' liegt nun darauf, relevante Informationen zum Klimawandel in Deutschland und den hieraus resultierenden Folgen für Planung, Bau und Betrieb von Binnen- und Seehäfen zusammenzustellen und Empfehlungen für die Klimawandelanpassung von Häfen in Deutschland zu erarbeiten. Zusätzlich werden Fallstudien zur Klimawandelanpassung deutscher Häfen als Best-Practice Beispiele erstellt. Eine Fertigstellung der Empfehlungen ist für 2024 geplant.

5. Danksagung

Die Autorinnen bedanken sich für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens PortKLIMA (FKZ: 03DAS136) im Rahmen des Programms 'Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)' des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durch den Projektträger Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH.

6. Referenzen

BMF, 2021: AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig 'Hafenbetriebe'. Bundesministerium für Finanzen. (https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Hafenbetriebe.html)

Koppe, B., Lankenau, L., 2021: Klimawandelanpassung von Seehäfen - Bericht zum Vorhaben PortKLIMA. Hochschule Bremen (https://www.hs-bremen.de/assets/hsb/de/Dokumente/Forschungsprojekte/PortKLIMA/PortKLIMA_Beruflich-Taetige.pdf)

LM, 2021: Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern - Themenheft 2-5/2021 Bemessungshochwasserstand und Referenzhochwasserstand; in Veröffentlichung. Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

PIANC, 2020: Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways. PIANC EnviCom WG 178, Brüssel; <https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178>

Thoresen, C. A., 2018: Port designer's handbook. Fourth edition. London: ICE Publishing

UNCTAD, 1985: Port development. A handbook for planners in developing countries. 2nd ed. rev. and expanded. United Nations Conference on Trade and Development, New York

CO₂-Bilanz von verschiedenen Kaimauerkonstruktionen

M.Sc. K. Hendler, Boley Geotechnik GmbH, München
Prof. Dr. P. Bourne-Webb, Instituto Superior Técnico, Lissabon
Prof. Dr. M. Pinheiro, Instituto Superior Técnico, Lissabon
Dr. Karsten Galipp, Inros Lackner SE, Bremen
Dr. Klaus Richter, Inros Lackner SE, Bremen

Mit einem Anteil von ca. 11 % (IEA und UNEP, 2018) an den globalen Treibhausgasemissionen trägt die Bauindustrie wesentlich zum Klimawandel bei. Um die Risiken und Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, haben sich die Nationen im Pariser Klimaabkommen von 2015 geeinigt Maßnahmen zu ergreifen, welche die Erderwärmung auf maximal 2°C begrenzen. Diese Maßnahmen betreffen auch die Bauindustrie. Um die Ziele des Klimaabkommens zu erreichen, müssen Baumaßnahmen für Infrastrukturprojekte nicht nur nach den Baukosten und technischen Lösungen bewertet werden, sondern auch nach der Gesamtkobilanz der jeweiligen Struktur (Life Cycle Assessment, LCA) sowie den emittierten Treibhausgasemissionen (TGE) in Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb der Struktur. LCA ist ein Werkzeug, mit dem die Umweltbelastung während der Lebensdauer einer Baukonstruktion berechnet werden kann. Um zu zeigen, wie hoch die TGE während der Planung und Bau einer Kaimauerkonstruktion sind, wurden verschiedene Kaimauerkonstruktionen (Spundwand, Caissonstruktur, Pierplatte) unter gleichen Randbedingungen untersucht. Die Analyse zeigte, dass die Spundwandkonstruktion die niedrigsten TGE und die Pierplatte die höchsten TGE aufweist. Ferner konnte dargestellt werden, dass der größte Anteil der Treibhausgase (ca. 80 %) während der Produktion der Baumaterialien - insbesondere für Portlandzement und Stahl - emittiert wird. Die Mobilisierung/Demobilisierung der Geräte und Baustelleneinrichtung sowie der Transport der Baumaterialien tragen zwischen ca. 6 % und 11 % zu den gesamten TGE bei. Ein ähnlicher Wert ergibt sich für die Bauphase der Kaimauerstruktur. Die Sensitivitätsanalyse konnte nachweisen, dass durch innovative Ansätze, z.B. durch Anpassung der Betonrezeptur der CO₂-Fußabdruck um 26 % bis 40 % reduziert werden kann.

1. Einleitung

Der Klimawandel – hervorgerufen durch anthropogene TGE - stellt eine Herausforderung und ein Risiko für das Wohlbefinden unseres Planeten und seiner Bewohner dar. Mit einem Anteil von ca. 11 % (in 2017) an den globalen TGE (IEA and UNEP, 2018), trägt die Bauindustrie wesentlich zum globalen Klimawandel bei. Um nachhaltig die TGE zu reduzieren, sind Innovationen bei der Konstruktion und für die Planung von Baumaßnahmen notwendig.

In der vorliegenden Studie wurde die CO₂-Bilanz verschiedener Kaimauerkonstruktionen eines Containerterminals mittels LCA berechnet. Bei den untersuchten Kaimauerkonstruktionen handelt es sich um eine kombinierte Spundwand, Caissonstruktur und eine aufgeständerte Pierplatte.

2. Überblick zum Stand der Technik

LCA-Normen

Die ISO 14067 (ISO, 2018) ist die Basis für die Berechnung von CO₂-Bilanzen. Diese Norm wurde bei dieser Studie zur Berechnung der Ökobilanz benutzt. Die ISO 14067 beschreibt die Prinzipien für die Durchführung einer CO₂-Bilanz basierend auf den folgenden vier Phasen:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens.
2. Sachbilanz: Quantifizierung der erforderlichen Eingangs- und Ausgangsdaten für das System oder Produkt.
3. Wirkungsabschätzung: Quantifizierung der potentiellen Auswirkungen. In dieser Studie wurde nur eine Wirkungskategorie untersucht, nämlich die CO₂-Emissionen.
4. Auswertung der Wirkungsabschätzung: Hier werden die maßgeblichen Parameter identifiziert sowie Schlussfolgerungen und Empfehlungen formuliert.

Der Lebenszyklus eines Produktes beinhaltet die verschiedenen Lebenswegphasen von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung. Tabelle 1 beschreibt die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes, wie sie in der EN 15978:2011 definiert sind. Für jede Phase wird ein Beispiel für eine Kaimauer dargestellt. In dieser Studie wurden nur die Phasen A1-A5 berücksichtigt.

Tabelle 1 Lebenswegphasen nach DIN EN 15978 mit Beispielen

Phase	Nummer	Beschreibung	Beispiel Kaimauer
Herstellung bzw. Produktion	A1	Rohstoffgewinnung	Gewinnung von Eisenerzen
	A2	Transport der Rohstoffe	Transport von Eisenerz von der Mine zur Schmelzhütte
	A3	Herstellung bzw. Produktion der Baumaterialien	Herstellung der Stahlpfähle
Errichtungsphase	A4	Transport	Transport der Pfähle zur Baustelle
	A5	Bau/Einbau	Einbau der Pfähle
Nutzungsphase	B1	Nutzung	Nutzung der Kaimauer, z.B. beladen von Schiffen
	B2	Instandhaltung	z.B. Auswechseln der Anoden an Stahlpfählen
	B3	Reparatur	Reparaturen an beschädigten Betonteilen
	B4 - B7
Entsorgungsphase	C1	Abbruch	Abbruch der Betonflächen / Herausziehen der Pfähle
	C2 - C4
Vorteile & Belastungen außerhalb der Systemgrenzen	D	Wiederverwendung, Rückgewinnung, Recycling	Stahl und ggf. Betonrecycling

Datenbanken und Software für Ökobilanzen

Datenbanken liefern Informationen für die Emissionsfaktoren, die mit verschiedenen Materialien und Prozessen eines Produktlebenszyklus verbunden sind. Ecoinvent ist eine der meistgenutzten und größten LCA-Datenbanken. Sie verfügt unter anderem über Datensätze für Baumaterialien, Metalle, Mineralien und verschiedene Transportprozesse (Ecoinvent, 2020). Je nach spezifischen Datensatz hat sie eine geografische Abdeckung, die auf ein bestimmtes Land (meist europäische und nordamerikanische Länder), Kontinente oder globale Durchschnittswerte anwendbar ist. Ecoinvent ist in der Software SimaPro enthalten, die für die Berechnung der TGE in dieser Studie benutzt wurde.

Die *European Reference Life Cycle Database* (ELCD) Datenbank wurde von der Europäischen Kommission und dem JRC (*Joint Research Centre*) entwickelt. Sie ist speziell auf Europa anwendbar und enthält Datensätze zu verschiedenen Baumaterialien, Transporten und Bauprozessen

Die *Inventory of Carbon and Energy* (ICE) Datenbank ist eine kostenlose Datenbank für Baumaterialien, die von Hammond und Jones (2008) entwickelt wurde. Die neueste Version wurde 2019 veröffentlicht (Circular Ecology, 2020) und ist im Excel-Format verfügbar. Die meisten Datensätze beziehen sich jedoch auf Großbritannien.

SimaPro ist eines der am häufigsten verwendeten Software Tools für Ökobilanzierung. Ein intuitives User-Interface, Verwendung von Parametern (nützlich für eine Sensitivitätsanalyse), Darstellung der Ergebnisse in Sankey-Diagrammen sowie die Einbindung der Ecoinvent Datenbank, sind u.a. wesentliche und vorteilhafte Merkmale von SimaPro.

In dieser Studie wurde SimaPro mit Daten aus den Ecoinvent, ELCD und ICE Datenbanken verwendet. Wenn notwendig wurden zusätzliche Daten aus Umweltproduktdeklarationen miteinbezogen.

CO₂-Bilanz Studien

Stripple et al. (2016) führten eine Ökobilanz für die Infrastruktur und Betrieb des Hafens von Göteborg in Schweden durch.

Die in der Studie von Stripple et al. (2016) betrachteten Phasen des Lebenszyklus waren Bau, Instandhaltung und Nutzung der Hafenanlagen. Die Bauphase umfasste die Rohstoffgewinnung und Produktion (A1-A3, siehe Tabelle 1), den Transport (A4) und den Betrieb der Baumaschinen (A5).

Die funktionelle Einheit ist Kilogramm CO₂-Äquivalent pro Tonne umgeschlagener Ladung (kg CO₂-Äq/t). Für das Containerterminal wurde eine durchschnittliche Belastung von 8112 kg pro *Twenty-Foot Equivalent Unit* (TEU) angesetzt und eine Lebensdauer von 60 Jahren berücksichtigt. Die Ergebnisse für die Ökobilanz des Containerterminals sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Maas et al. (2011) führten eine Ökobilanz für verschiedene Kaimauerentwürfe aus Beton, Stahl, Holz und Faserverstärkte Polymerplatten durch. Die Studie untersuchte das Euromax Containerterminal im Hafen von Rotterdam, mit einer Kaimauerlänge von 1900 m und einer Stützwandhöhe von 27 m. Die maßgeblichen Dimensionen für die verschiedenen Konstruktionen sind:

- Beton-Schlitzwand: Länge = 32 m & Dicke = 1,2 m;
- Kombi-Spundwand: Trägerbohlenlänge = 35 m & Zwischenbohlenlänge = 32 m;
- Holzwand (*Azobe Hardwood*): Wandstärke = 1,4 m;
- Faserverstärkte Polymerplatten (FRP): Wandstärke = 2,08 m.

Die funktionelle Einheit ist kg CO₂-Äquivalent pro laufender Meter Kaimauer (kg CO₂-Äq/m) mit einer Lebensdauer von 50 Jahren. Die Ergebnisse der Studie sind in Abbildung 2 dargestellt:

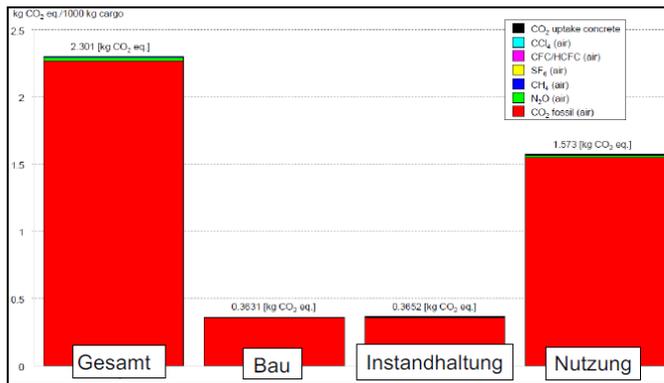


Abbildung 1 CO₂-Bilanz für das Containerterminal im Hafen Göteborg nach Abb. 67 Stripple et al. (2016)

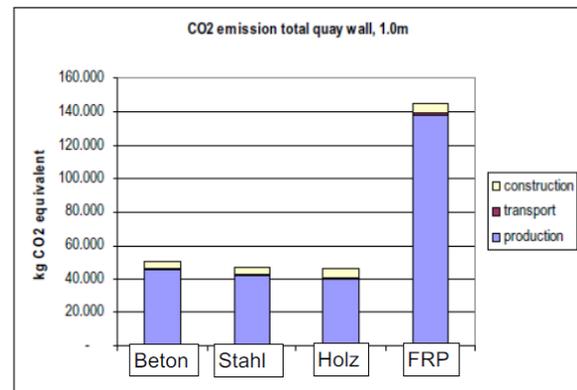


Abbildung 2 CO₂-Bilanz verschiedener Kaimauern in kg CO₂Äq/m nach Maas et al. (2011)

3. Design

Im Rahmen dieser Studie wurden Entwürfe für eine Caisson-, Spundwand- und eine Pierplattenstruktur entwickelt. Mit den Entwürfen als Grundlage wurden Materialmengen, Bauverfahren und ein Bauzeitenplan entwickelt, um die CO₂-Bilanz der verschiedenen Konstruktionen berechnen zu können. Die erforderlichen Abmessungen der Kaimauer wurde durch das Bemessungsschiff (siehe Abbildung 3) vorgegeben.

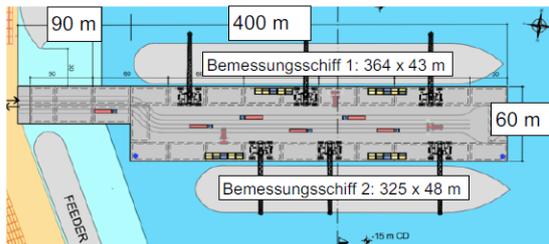


Abbildung 3 Planansicht des Piers mit Angaben der Bemessungsschiffe

	Bemessungsschiff 1	Bemessungsschiff 2
Wasserverdrängung	164 200 [t]	180 500 [t]
Länge über alles	364 [m]	325 [m]
Breite	43 [m]	48 [m]
Max. Tiefgang	15 [m]	16,5 [m]

Zunächst wurden notwendige Bodenparameter über die Ergebnisse einer durchgeführten geotechnischen Bodenuntersuchung abgeschätzt. Die angenommene Lebensdauer für alle drei Kaimauern entspricht 50 Jahren, gemäß BS 6349-1-1:2013. Die Nachweise des Grenzzustands der Tragsicherheit (ULS) - gemäß den Richtlinien des Eurocode (EC) 7 – wurden für alle Strukturen durchgeführt. Die Caissonstruktur stellt eine Adaption eines bestehenden Entwurfs nach Brueton et al. (2013) dar, während der Entwurf für die Pierplatte auf einem bestehenden Entwurf aus einem Projekt von Inros Lackner basiert. Mit der Software GGU-Retain konnte unter Berücksichtigung aller Eigengewichte der Konstruktionen und Materialien die Spundwand entworfen werden. Die Verkehrslasten aus einem Liebherr-Hafenmobilkran LMH 600-2 und einer Flächenlast von 50 kN/m² wurden ebenfalls in allen Berechnungen verwendet.

Ein typischer Querschnitt für jeden Entwurf, jeweils mit den Mengen für die wesentlichen Baumaterialien, ist in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt. Für alle Betonelemente wurde eine

Betonrezeptur für eine Betongüte von C35/45 verwendet die in Tabelle 2 aufgeführt ist. Die Menge an Stahlbewehrung für die Hauptbetonkomponenten, ist in Tabelle 3 dargestellt.

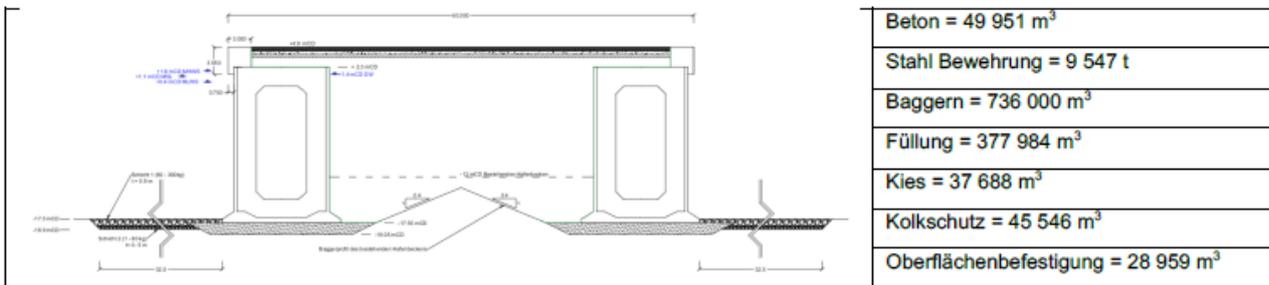


Abbildung 4 Schnittansicht Caisson mit Gesamtmengen der wesentlichen Materialien

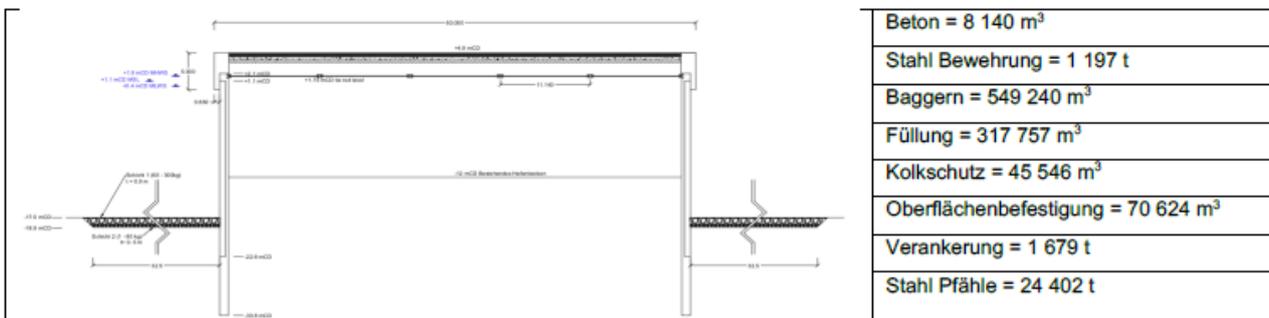


Abbildung 5 Schnittansicht Spundwand mit Gesamtmengen der wesentlichen Materialien

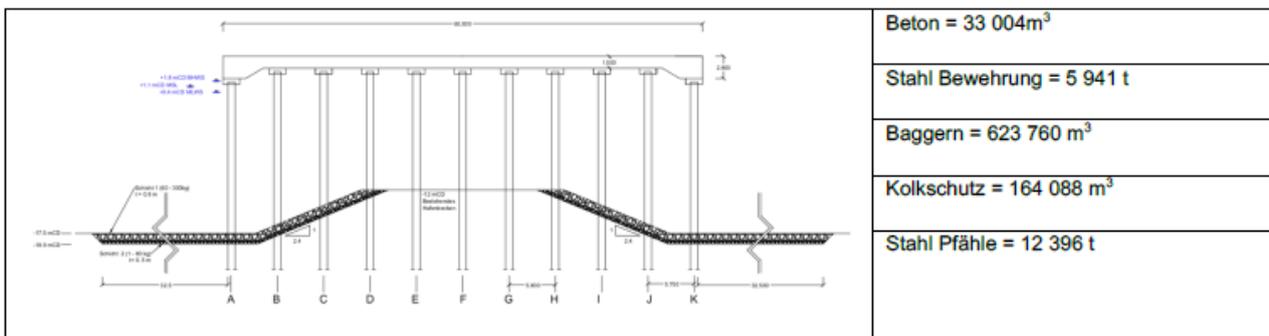


Abbildung 6 Schnittansicht Pierplatte mit Gesamtmengen der Wesentlichen Materialien

Tabelle 2 Basis Betonrezeptur

Komponente	Menge	Bemerkung
Wasser	152 [Liter]	Wasser/Zement = 0,33
Zement (CEM I)	391 [kg]	Gesamtbindemittel = 460 kg, m.a.W. 85 % CEM I und 15 % Flugasche
Flugasche (FA)	69 [kg]	
Sand	615 [kg]	
Steine	1193 [kg]	
Plastiziermittel	5 [kg]	Sika ViscoCrete 3088

Tabelle 3 Stahlbewehrung der verschiedenen Kaimauerkonstruktionen

Komponente	Bewehrung	Bemerkung
Caisson	210 kg/m ³	Nach einem bestehenden Projekt (Transnet, 2019)
Betonholm	147 kg/m ³	Nach einem bestehenden Projekt (PMI Ltd. , 2016). Dieser Bewehrungsgehalt wurde für den Betonholm bei der Caisson- und bei der Spundwandkonstruktion verwendet.
Fertigbetonbalken und Bretter, Ortbetonplatte	180 kg/m ³	Übernommen aus einem bestehenden Projekt von Inros Lackner. Diese Komponente wurden bei der Pierplatte Konstruktion verwendet.

4. Ökobilanz

Die vier Schritte einer Ökobilanz sind 1) die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, 2) die Sachbilanz, 3) die Wirkungsabschätzung, und 4) die Auswertungsphase (siehe Abschnitt 2).

Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Das Ziel dieser Studie ist es die CO₂-Bilanz der Kaimauerkonstruktionen zu ermitteln. Bei den untersuchten Systemen handelt es sich um drei unterschiedliche Kaimauerkonstruktionen mit zwei Liegeplätzen für den Containerumschlag (siehe Abbildung 3). Die funktionale Einheit für die CO₂-Bilanz ist metrische Tonnen CO₂-Äquivalent pro Meter Liegeplatz (t CO₂-Äq/m). Die betrachteten Lebenswegphasen sind Herstellung (A1-A3), Transport (A4) und Bau (A5), siehe Tabelle 1. Die Systemgrenze ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4 Systemgrenze: Festlegung des Untersuchungsrahmens

Prozess	Bemerkung	Enthalten?
1. Mobilisierung	Große Baugeräte wie Pontons, Kräne, Rammgeräte werden aus Übersee mobilisiert.	Ja
2. Ausbaggern & Verfüllung	Dies umfasst das Ausbaggern und die Entsorgung des Baggerguts sowie das Einbringen von Füllmaterial zur Bildung des neuen Piers.	Ja
3. Kaimauer Struktur	Hierzu gehören alle strukturellen Komponenten für die verschiedenen Kaikonstruktionen, zum Beispiel Pfähle, Caisson, Betonfertigteile, Verankerung usw.	Ja
4. Kalkschutz	Siehe Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6	Ja
5. Ausrüstung	Lichter, Feuerschutz, Elektrizitätsanschluss usw. Da die Ausrüstung für die verschiedenen Kaimauerkonstruktionen gleich ist, waren diese nicht in der Systemgrenze enthalten und daher nicht berücksichtigt.	Nein
6. Anlegeausrüstung	Fender, Poller, Leitern usw. Die Anlegeausrüstung ist für die verschiedenen Konstruktionen ungefähr gleich und wurde deshalb im System nicht berücksichtigt.	Nein
7. Oberflächenbefestigung	Die Oberflächenbefestigung beinhaltet die Erdarbeiten und die Pflasterung.	Ja
8. Demobilisierung	Demobilisierung von Großgeräten zurück zum Herkunftsland.	Ja

Sachbilanz

Die Produktion von Baumaterialien stellt die Lebenswegphasen A1-A3 dar. Die Materialmengen sind in Abbildung 4 - 6 zusammengefasst (siehe Abschnitt 3). Für den Transport von Baumaterialien vom Produktionsstandort z.B. Steinbruch oder Fabrik bis zur Baustelle, wurden bestimmte Annahmen getroffen. Diese sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Transport der Baumaterialien stellt die Lebenswegphase A4 dar. Die Emissionsfaktoren stammen aus der EcoInvent 3 Datenbank.

Tabelle 5 Transportstrecken für die Sachbilanz

Transport Strecke	Distanz	Bemerkung
Steinbruch zur Baustelle	50 km	Kalkschutz, Kies, Erdarbeiten, Steine und Sand.
Zementfabrik zur Baustelle	30 km	Transport von Portland Zement von der Fabrik bis zur Baustelle.
Stahlfabrik zur Baustelle	25 km	Transport der Stahlbewehrung von der Fabrik zur Baustelle.
International	9825 km	Wurde für die Verschiffung von Materialien aus Übersee angewendet, u.a. Stahlpfähle, Flugasche und Hüttensand.

Der Betrieb von Baugeräten stellt die Lebenswegphase des Einbaus dar (A5). Um die erforderlichen Betriebsstunden für die verschiedenen Geräte abzuschätzen, wurde vom Autor auf Grundlage von Projekterfahrung ein Bauzeitenplan entwickelt. Anhand dieses Bauzeitenplans wurden jedem Vorgang Maschinenressourcen zugeteilt. Darauf basierend wurde die Dauer des Maschineneinsatzes für den Vorgang geschätzt. Für jede Maschine wurde eine Reihe von Emissionsfaktoren (aus Ecoinvent 3), - abhängig von der Nennleistung der Maschinen und dem Auslastungsfaktor - verwendet. Diese Emissionsfaktoren folgen den Empfehlungen der *United States Environmental Protection Agency* (US EPA, 2010).

Fan (2017) merkt an, dass es viele Aspekte gibt, die die Emissionen von Baumaschinen beeinflussen, wie zum Beispiel deren Zustand, die Betriebsbedingungen und die Wartung der Ausrüstung. Daher

sollte beachtet werden, dass die tatsächlichen Emissionen der Baugeräte von den hier dargestellten Ergebnissen in der Realität abweichen können.

Wirkungsabschätzung

Im Folgenden wird die CO₂-Bilanz für die drei Kaimauerkonstruktionen und der Beitrag der jeweiligen Lebenswegphasen beschrieben. Zunächst wird die Basis CO₂-Bilanz beschrieben. Im zweiten Teil dieses Abschnitts werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse vorgestellt, die zeigen, wie die CO₂-Bilanz beeinflusst wird, wenn bestimmte Parameter geändert werden.

Basis CO₂-Bilanz:

Die Schätzungen der Basis CO₂-Bilanz sind, mit dem ersten Balken, in den Abbildungen 7 bis 9 für die verschiedenen Kaimauerkonstruktionen dargestellt. Der Beitrag der einzelnen Lebenswegphasen (Herstellung, Transport, Bau) wird ebenfalls angezeigt. Um die Ergebnisse der Berechnungen für die CO₂-Bilanz vergleichen zu können, wurden verschiedene Annahmen getroffen. Diese sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6 Annahmen für die Berechnung der Basis CO₂-Bilanz

Komponente	Annahme
Stahlelemente	Für alle Stahlelemente wurden die globalen durchschnittlichen Emissionsfaktoren gemäß der World Steel Association verwendet.
Caisson Stahlbewehrung	ein Stahlbewehrungsgehalt von 210 kg/m ³ verwendet, der auf einem bestehenden Projekt basiert (Transnet, 2019).
Beton	Alle Betonelemente wurden gemäß der in Tabelle 2 aufgeführten Betonrezeptur hergestellt.

Sensitivitätsanalyse:

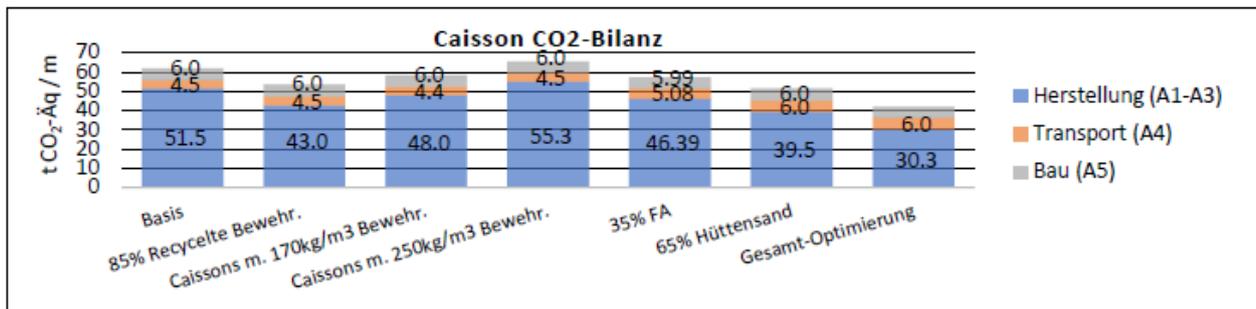
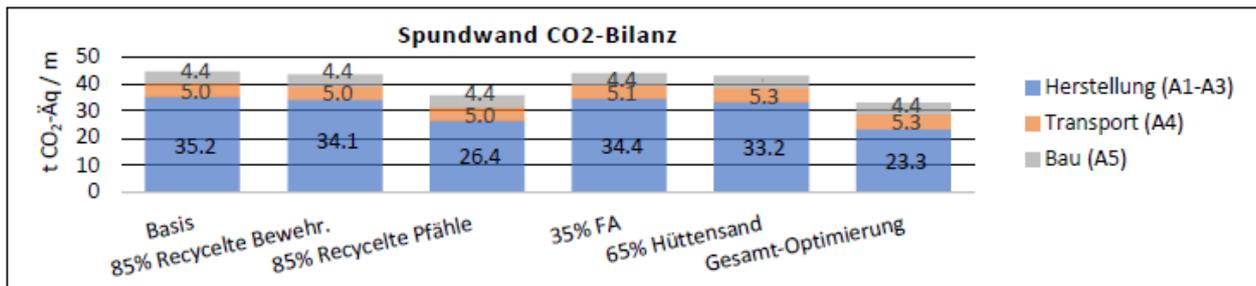
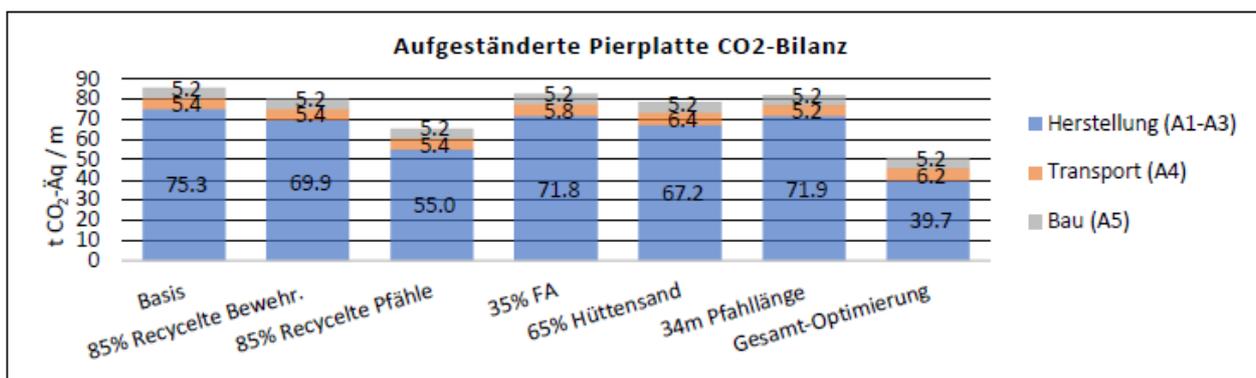
Die Parameter, die in der Sensitivitätsanalyse untersucht wurden, sind in Tabelle 7 zusammengefasst. In Abbildung 7 bis 9 sind auch die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die jeweiligen Kaimauerkonstruktionen dargestellt. Der letzte Balken in jeder Abbildung stellt die „Gesamtoptimierungen“ dar, die eine Kombination aus den verschiedenen Parametern aus Tabelle 8 sind.

Tabelle 7 Parameter die in der Sensitivitätsanalyse berücksichtigt wurden

Parameter	Bemerkung
Stahl (Bewehrung und Pfähle)	Verwendung von Emissionsfaktoren, die einem Anteil an recyceltem Stahl von ca. 85 % entsprechen.
Caisson Stahlbewehrung	Untersuchung der Auswirkung der Veränderung des Basis-Bewehrungsgehalts (210 kg/m ³) mit ±40 kg/m ³ .
Zusammensetzung des Bindemittels	Untersuchung der Auswirkung der Bindemittelzusammensetzung auf a) 65 % Portlandzement mit 35 % Flugasche (FA) und b) 35 % Portlandzement mit 65 % Hüttensand. Diese Zusammensetzungen entsprechen den Grenzwerten des <i>British Standards</i> BS 6349-1-4:2013.
Rohrpfahlänge	Für die Pierplatte Konstruktion: Auswirkungen einer Verringerung der Pfahlänge von 37m auf 34m.

Tabelle 8 Berücksichtigte Parameter für die Gesamtoptimierung

Kaimauer- konstruktion	Bewehrung: 85 % Recyceltes Stahl	Pfähle: 85 % Recyceltes Stahl	65 % Hüttensand im Bindemittel	34m Lange Rohrpfähle	Caisson Stahl- Bewehrung
Caisson	✓	✓	✓	Nichtzutreffend	210 kg/m ³
Spundwand	✓	✓	✓	Nichtzutreffend	Nichtzutreffend
Pierplatte	✓	✓	✓	✓	Nichtzutreffend

Abbildung 7 Caisson CO₂-Bilanz, Basis mit SensitivitätsanalyseAbbildung 8 Spundwand CO₂-Bilanz, Basis mit SensitivitätsanalyseAbbildung 9 Pierplatte CO₂-Bilanz, Basis mit Sensitivitätsanalyse

5. Auswertung

Auswertung der Basis CO₂-Bilanz

Es wurde festgestellt, dass die Spundwandkonstruktion die niedrigste CO₂-Bilanz aufweist (ca. 45 t CO₂-Äq/m), gefolgt von der Caisson-Konstruktion (ca. 62 t CO₂-Äq/m) und der Pierplatte (ca. 86 t CO₂-Äq/m). Es ist offensichtlich, dass die CO₂-Emissionen während der Herstellungsphase den größten Beitrag zur CO₂-Bilanz (ca. 79 %) aufweisen. Dies kann durch die energieintensive Prozesse zur Herstellung von Portlandzement und Stahl erklärt werden. Anhand der in Abbildung 4 bis 6 dargestellten Materialmengen, ist zu erkennen, dass die Pierplatte ca. das Vierfache an Beton im Vergleich zur Spundwandvariante und das ca. 1,7-fache an Stahl gegenüber der Caissonvariante benötigt. Die Kombination dieser beiden Faktoren ist der Hauptgrund für die hohe CO₂-Bilanz der Pierplatte.

Auswertung der Sensitivitätsanalyse

Wie in Abbildung 7 zu erkennen ist, kann die CO₂-Bilanz der Caissonkonstruktion deutlich reduziert werden, wenn der Gehalt an recyceltem Stahl in der Stahlbewehrung erhöht und ein Anteil von ca. 65 % an Hüttensand im Bindemittel verwendet wird. Die Anpassung der Bewehrung um ± 40 kg/m³ verändert die CO₂-Bilanz um jeweils ± 6 %. Die Kombination verschiedener Parameter, wie in Tabelle

8 beschrieben, ergibt für die Caisson-Option eine Reduzierung der CO₂-Bilanz um 32 % gegenüber dem Basis-Wert.

Bei der Spundwand ergab sich die größte Möglichkeit zur Reduzierung der CO₂-Bilanz durch die Verwendung eines hohen Anteils von recyceltem Stahl für die Pfahlherstellung. Da die Spundwandlösung im Vergleich zu den anderen beiden Entwürfen relativ geringe Betonmengen aufweist, sind die Einsparungen durch die Anpassung des Anteils an recycelter Stahlbewehrung und des Bindemittelgehalts relativ gering. Die Kombination der verschiedenen Parameter, wie in Tabelle 8 beschrieben, ergibt für die Spundwand eine Reduzierung der CO₂-Bilanz um ca. 29 % gegenüber dem Basis-Wert.

Bei der Pierplatte hat die Verwendung von recyceltem Stahl für die Pfahlherstellung den größten Effekt auf die CO₂-Reduzierung von ca. 24 %. Dies in Kombination mit der Anpassung der verschiedenen Parameter, wie in Tabelle 8 beschrieben, führt zu einer CO₂-Verringerung von bis zu 40 % im Vergleich zum Basis-Wert.

Einschränkende Aspekte

Laut Arcelor Mittal (2019) kann derzeit das Angebot von Stahlschrott nur etwa 22 % der weltweiten Nachfrage nach Stahl decken und soll auf ca. 40 % - 50 % bis zum Jahr 2050 ansteigen. In der Sensitivitätsanalyse dieser Studie wurde ein Anteil an recyceltem Stahl von etwa 85 % verwendet. In Anbetracht des begrenzten Angebots an Stahlschrott ist es jedoch vermutlich nicht realistisch, einen so hohen Wert zu verwenden. Das relativ niedrige Angebot von Stahlschrott wirft den wichtigen Aspekt der Wiedergewinnung von Stahlelementen (Lebenswegphase D) auf, da dieser Nutzen teilweise oder in seiner Gänze einem vorliegenden Projekt zugeordnet werden kann (Hammond & Jones, 2011).

Die Auswirkungen einer Änderung der Zusammensetzung des Bindemittels wurde untersucht, indem der Flugasche- und Hüttensandgehalt des Bindemittels auf 35 % bzw. 65 % erhöht wurde. Typischerweise hat ein Beton mit höherem Anteil an Flugasche oder Hüttensand eine geringere Frühfestigkeit als ein Beton, der nur Portlandzement enthält (The Concrete Centre, 2020). Dies kann sich auf das Bauprogramm auswirken, da es die benötigte Zeit zum Ausschalen erhöhen kann. Deswegen ist es wichtig, dass Projektplaner und -leiter bereits vor Anlauf des Projekts oder in seinem Frühstadium mit Lieferanten und Bauunternehmen zusammenarbeiten, um Möglichkeiten und Grenzen der CO₂-Reduzierung bei der Betonherstellung bewerten zu können.

6. Fazit

In dieser Studie wurde die CO₂-Bilanz für drei verschiedene Kaimauerkonstruktionen für ein Containerterminal untersucht. Die Berechnung der CO₂-Bilanz erfolgte einer LCA, wobei nur die Lebenswegphasen Herstellung (A1-A3), Transport (A4) und Bauphase (A5) analysiert wurden.

Es wurde festgestellt, dass die Spundwand die niedrigsten CO₂-Emissionen aufweist, gefolgt von der Caissonstruktur und der Pierplatte. In allen drei Fällen hatte die Lebenswegphase Herstellung den höchsten Beitrag zur CO₂-Bilanz. Der Grund dafür ist der hohe Energiebedarf, der mit der Stahl- und Portlandzementproduktion verbunden ist.

Es wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Auswirkungen der Anpassung verschiedener Parameter wie z.B. Anteil an recyceltem Stahl, Zusammensetzung des 10 Bindemittels und Pfahllänge zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist die CO₂-Emissionen für die verschiedenen

Entwürfe, um bis zu ca. 40 % zu reduzieren. Zukünftige Studien könnten sich in größerem Detail auf die Lebenswegphase Bau (A5) sowie auf die Rückgewinnung und Recycling (D) von Stahl konzentrieren.

Literaturverzeichnis

Arcelor Mittal , 2019. *Climate Action Report - 1*, Luxembourg :Arcelor Mittal.

Brueton, V., Henning, D., Chetty, M., Le Roux, R. & Naidoo, N. 2013. *Proposed Deepening, Lengthening and Widening of Berth 203 to 205, Pier 2, Container Terminal, Port of Durban – Draft EIA Report*, Durban: Nemaï Consulting.

Circular Ecology, 2020. *Embodied Energy and Carbon - The ICE Database*. [Online] <https://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprintdatabase.html#.XmZlJ0nsboo> [Abgerufen am 9. März 2020].

Ecoinvent, 2020. Ecoinvent. [Online] <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-36/new-data-in-ecoinvent-36/newdata-in-ecoinvent-36.html> [Abgerufen am 9 März 2020].

Eurostat, 2019. Eurostat. [Online] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_statistics_-_emission_inventories

Fan, H., 2017. *A Critical Review and Analysis of Construction Equipment Emission Factors*. *Procedia Engineering*, Volume 196, pp. 351-358.

Hammond , G. P. & Jones, C. I., 2008. *Embodied energy and carbon in construction materials*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 161(2),s.87-98.

Hammond, G. & Jones, C., 2011. *A BSRIA guide: Emodied Carbon - The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Bracknell: Building Services Research and Information Association (BSRIA).

IEA and UNEP, 2018. *2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, s.l.: International Energy Agency (IEA) and United Nations Environment Programme (UNEP)*.

ISO, 2018. ISO 14067:2018 Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung. Berlin: Beuth Verlag GmbH

Maas, T., de Gijt, J. & Dudok van Heel, D., 2011. *Comparison of quay wall designs in concrete, steel, wood and composites with regard to the CO₂ -emission and the Life Cycle Analysis*. Singapore, MTEC.

PMI Ltd. , 2016. *Luanda Fishing Port Project Presentation at 2016 Arcelor Mittal Sheet Piling Symposium in Durban*. Durban: PMI Ltd.

Stripple, H., Fridell, E. & Winnes, H., 2016. *Port Infrastructures in a System Perspective*, Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.

The Concrete Centre, 2020. Specifying Sustainable Concrete, London: MPA The Concrete Centre

Transnet, 2019. Tender Bulletins. [Online] <https://tenderbulletins.co.za/tender-bulletin/dct-berths-203-to-205-reconstructiondeepening-and-lengthening/> [Abgerufen am 15 Juni 2020].

US EPA , 2010. Median Life, Annual Activity, and Load Factors for Nonroad Engine Emissions Modeling ND-005d, s.l.: United States Environmental Protection Agency.

IHRE HERAUSFORDERUNG – UNSERE LÖSUNG

WASSERBAU



**Dredging &
Marine Experts**
Heinrich Hirdes GmbH

KAMPFMITTELRÄUMUNG



EOD Services
Heinrich Hirdes EOD Services GmbH
Boskalis EOD Services (UK) Ltd.
Heinrich Hirdes Kampfmittelräumung GmbH

MARITIME SAND- UND
KIESEGWINNUNG



**Marine Gravel and
Sand Mining**

Preisträgerin HTG Förderpreis – Masterarbeiten

Salt water intrusion in the Weser estuary Hydro-numerical modeling to hindcast the development from 1960 until today

Pia Kolb, M.Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg

Durch natürliche Prozesse und Ausbaumaßnahmen hat sich die Topographie des Weserästuars in den letzten hundert Jahren stark verändert. Während ein Effekt der Topographieänderungen auf die Tidedynamik klar nachgewiesen wurde, ist bisher unklar, ob auch die Salzwasserintrusion von den Änderungen beeinflusst wurde.

Frühere Studien zeigen, dass anhand von Messdaten der Effekt einzelner Einflussfaktoren auf die Salzwasserintrusion schwierig zu unterscheiden ist. In dieser Studie wurden Modelle verschiedener historischer Systemzustände (2012, 1981, 1972, 1966) mit entsprechenden Randwerten und Modelltopographien erstellt, um die historische Entwicklung der Salzwasserintrusion zu untersuchen. Anhand der Modellergebnisse der Hindcast-Studie lassen sich keine Trends ableiten, und der Einfluss der Topographieänderungen wird durch andere Einflüsse überschattet, insbesondere durch den variierenden Zufluss der Weser. In Modellen der hydrologischen Jahre 1981 und 1966, in welchen der Zufluss hoch ist, ist das Süßwassergebiet etwa 10 km länger als in Modellen der hydrologischen Jahre 2012 und 1972, in welchen der Zufluss nur halb so hoch ist wie in den anderen beiden Szenarien. Der Einfluss von Topographieänderungen wurde anschließend mit einer Systemstudie untersucht. Simulationen mit identischen Randbedingungen, aber verschiedenen Modell-Topographien und Rauheitsparametern, wurden durchgeführt.

Die Ergebnisse legen nahe, dass sich die Brackwasserzone allein aufgrund des Einflusses der Topographieveränderungen zwischen 1972 und 1981 um 2,5 km, zwischen 1981 und 2012 um einen weiteren Kilometer landwärts verschoben hat. Es stellte sich heraus, dass eine sorgfältige Kalibrierung aller Modelle essentiell ist. Die Auflösung topographischer Daten verschiedener Jahre ist meist nicht vergleichbar; dies muss durch Kalibrierung der Rauheitsparameter ausgeglichen werden. Die vorliegende Studie testet erfolgreich ein neues Untersuchungskonzept und trägt zu einem verbesserten Verständnis bei, wie einzelne Parameter, insbesondere die Topographie, die Salzwasserintrusion beeinflussen.

Herausforderung BIM im Wasser- und Verkehrswasserbau Entwicklung und Einführung von BIM mit dem Ziel, die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten zu optimieren und Kapazitäten zu bündeln

Dipl.-Ing. M. Kießner, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Hannover

Dipl.-Ing. M. Wählen, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Bundesfachabteilung Wasserbau, Berlin,

Dr.-Ing. U. Jäppelt, Verband Beratener Ingenieure / WTM Engineers GmbH, Hamburg

Dr.-Ing. J. Ebers-Ernst, Verband Beratener Ingenieure GRBV Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, Hannover

Der digitale Wandel fordert und ermöglicht neue Wege in der Wertschöpfungskette Bau. Building Information Modeling (BIM) ist ein wesentlicher Baustein in dem Bestreben, die Planungs- und Kostensicherheit zu erhöhen und zur Effizienzsteigerung im gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks beizutragen. Kernelement der Methode ist die partnerschaftliche, transparente Zusammenarbeit, Planende und Bauwirtschaft sowie Verwaltung müssen deshalb gemeinsam Entwicklungsarbeit leisten. Hierzu wird das Wissen und die Erfahrung aller Beteiligten in einem Arbeitskreis, bestehend aus VBI, HDB Bundesfachabteilung Wasserbau und WSV (GDWS), zusammengeführt.

Der Arbeitskreis hat sich zur Aufgabe gesetzt, sinnvolle Handlungsfelder im Bereich BIM im Verantwortungsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes zu identifizieren und Erfahrungen aus der Praxis in den Entwicklungsprozess einzubringen. Es werden Prozesse der Zusammenarbeit verifiziert und Vorschläge zu deren Optimierung gemacht. Daten müssen im Bauprozess sicher und effizient für alle Beteiligten zur Verfügung gestellt werden. Der daraus entstehende Informationsgewinn wird zu wirtschaftlicheren Abläufen auf allen Stufen des Planens, Bauens und Betriebs von Bauwerken führen. Dabei werden auch die Entwicklung von Softwarelösungen als digitale Werkzeuge und die Etablierung und Ausgestaltung von cloud-basierten Informationsplattformen unterstützt. Weiterhin wird die einheitliche, fachübergreifende Definition von Bauteilen und deren Merkmalen aktiv begleitet.

Mit dem Beitrag sollen die ersten Ergebnisse des Arbeitskreises vorgestellt werden.

1. Einleitung

BIM wurde bereits in den 1990er Jahren als Planungsmethode erwähnt. Wurde in dieser Zeit das Bauwerk und seine Errichtung in den Fokus genommen, wird heute der gesamte Lebenszyklus ganzheitlich betrachtet. Zu Beginn des Jahrtausends wurden auch in Deutschland bereits Hochbauprojekte mit BIM als Planungsmethode abgewickelt. So ist es nicht verwunderlich, dass BIM in diesem Bereich heute schon eine intensive Phase der Standardisierung hinter sich hat und in nahezu allen Großbauprojekten des Hochbaus zum Einsatz kommt. Über ihre Hochbauaufgaben erprobten einige Infrastrukturbetreiber wie DB AG, DEGES, etc. auch schon BIM in diversen Pilotprojekten.

Im Zuge einiger Großbaumaßnahmen, die sowohl Zeitziele als auch Kostenrahmen deutlich überschritten haben, wurde im April 2013 vom damaligen Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung eine Expertenkommission in Leben gerufen, um den guten internationalen Ruf der deutschen Bau- und Planungswirtschaft zu erhalten und Fehlentwicklungen entgegenzuwirken. Die mit 36 hochrangigen Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlicher Hand und Verbänden besetzte Kommission hatte sich zum Ziel gesetzt den Ursachen auf den Grund gehen und Lösungsvorschläge zu entwickeln. Der im Juni 2015 abgeschlossene Bericht enthielt weitreichende Handlungsempfehlungen für alle am Bau Beteiligten. Der Bundesregierung wurde u.a. empfohlen Building Information Modeling als Methode zur strukturierten und partnerschaftlichen Zusammenarbeit zu etablieren und die Initiative „planen-bauen 4.0 Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens mbH“ (planen-bauen 4.0) der Bauwirtschaft zu unterstützen. Bereits im Dezember 2015 wurde vom damaligen Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ein Stufenplan zur Einführung von BIM in die Bundesverkehrsinfrastrukturverwaltung veröffentlicht. Zu den ersten darin enthaltenen BIM-Pilotprojekten gehörte im Bereich der Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) der Ersatzneubau der Schleuse Wedtlenstedt am Stichkanal nach Salzgitter. Mit dem 1. Fortschrittsbericht des Stufenplans im Januar 2017 kam dann als zweites Pilotprojekt der vorgezogene Ersatzneubau der Schleuse Lüneburg bei Scharnebeck hinzu.



Abb. 1: Zeitstrahl BIM-Implementierung (Quelle: FG-BIM-WSV)

Die Einführung von BIM wurde im BMVI bis 2020 von der Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 begleitet. Es sollten die wesentlichen Voraussetzungen für die Umsetzung des BIM-Stufenplans geschaffen werden. Hierzu zählen, Leistungsniveaus, Begleitung von Pilotprojekten, Rechts- und Vertragsfragen sowie Bereitstellung von Leitfäden. Fortgeführt und weiterentwickelt werden diese Aufgaben

von BIM Deutschland - nationales Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens (BIM D). Eines der Ziele ist ein einheitliches und abgestimmtes Vorgehen im Infrastruktur- und Hochbau. Im hierfür eingerichteten Informationsplattform „BIM-Portal“ sollen zukünftig Muster, Vorgaben und Werkzeuge für alle Anwender im öffentlichen wie auch im privatwirtschaftlichen Bau bereitgestellt werden.

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ist Mitglied in der nichtstaatlichen, non-profit-Organisation buildingSMART. Sie definiert das herstellerneutrale, über den Stufenplan vorgegebene Austauschformat Industry Foundation Classes (IFC) zum BIM-Datenaustausch im Bauwesen. Im internationalen und nationalen Bereich wird, in verschiedenen Arbeitsgruppen, auch mit Beteiligung der WSV, die Weiterentwicklung des IFC-Standards für den Infrastrukturbau erarbeitet.

Im Rahmen der Forschungsinitiative Modernitätsfonds (mFUND) fördert das BMVI seit 2016 Forschungs- und Entwicklungsprojekte rund um digitale datenbasierte Anwendungen für die Mobilität 4.0. Hierzu zählen auch diverse BIM-Forschungsprojekte, wie z.B. BIMSTRUCT - Strukturierte Daten für die digitale Zusammenarbeit im Infrastrukturbau.

2. Implementierung von BIM im Verkehrswasserbau

Die Digitalisierung im Bauwesen ist eine der großen Herausforderungen für die Bauwirtschaft, die Planer und die Verwaltung. Die Implementierung der BIM-Methodik in den Planungs- und Bauprozess im Verkehrswasserbau erfolgt mit dem Ziel der Verbesserung der Qualität der integrierten Planung als Grundlage für die Realisierung und den späteren langfristigen Betrieb von Verkehrswasserbauwerken.

Verkehrswasserbauwerke zeichnen sich durch eine planmäßige Nutzungsdauer von 100 Jahren aus, wodurch den Anforderungen aus Betrieb und Unterhaltung ein sehr hoher Stellenwert im Planungsprozess zukommt. Die Anwendung der BIM-Methodik im Verkehrswasserbau ist ein wesentlicher Baustein um die Planungs- und Kostensicherheit zu erhöhen und zur Effizienzsteigerung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks beizutragen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung der BIM-Methodik in den Planungs- und Bauprozess ist neben der Entwicklung geeigneter Werkzeuge und verbindlicher Standards in erster Linie eine gemeinsame Sprache und ein gleiches Verständnis aller beteiligten Parteien. Dazu müssen das Wissen und die Erfahrungen aller Beteiligten aus Verwaltung, Planung und Bauausführung gebündelt werden. Aus diesem Grund haben sich Vertreter der WSV (GDWS), des VBI Arbeitskreises Wasserstraßen sowie des HDB Bundesfachabteilung Wasserbau zusammengefunden, um gemeinsam die Entwicklung voranzubringen und perspektivisch BIM als Planungsmethode für maßgebliche Bauvorhaben der WSV zu etablieren. Die Prozesse der Zusammenarbeit werden verifiziert und Vorschläge zu deren Optimierung gemacht.

Darüber hinaus soll dem im Wasserbau bestehenden Fachkräftemangel durch modernere, transparentere und dadurch konfliktärmere Abläufe entgegengewirkt werden. BIM als Teil der Digitalisierung ist ein wichtiger Baustein zur Erhöhung der Attraktivität des Berufsbildes.

Der Arbeitskreis hat sich deshalb zur Aufgabe gesetzt, sinnvolle Handlungsfelder im Bereich BIM im Verantwortungsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes zu identifizieren und Erfahrungen aus der Praxis in den Entwicklungsprozess einzubringen.

3. Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Mit Etablierung des ersten WSV-Pilotprojektes wurde im Wasserstraßen-Neubauamt Hannover (WNA Hannover) eine Projektgruppe zur Steuerung der BIM-Aktivitäten (PG-BIM) gegründet. Da auch das zweite Pilotprojekt organisatorisch beim WNA Hannover angesiedelt ist, wurde auch dies in die Arbeit der PG-BIM mit integriert. Gemeinsam mit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) wurde 2018, als Konkretisierung des Stufenplans, ein Einführungskonzept – das Ziel- und Zukunftskonzept BIM-WSV 2030- erarbeitet und eingeführt. Hierin wurde eine mittel- und langfristige Strategie zur Einführung von BIM in die WSV vorgegeben. Ein Baustein war die Etablierung von weiteren Pilotprojekten, den sog. „Erfahrungsprojekten“. Die Pilotprojekte der ersten Phase befanden sich ausschließlich in der Planung. Um auch in der Bau- und Abrechnungsphase Erkenntnisse zu gewinnen, sollten die Erfahrungsprojekte kleinere evtl. schon fortgeschrittene Baumaßnahmen beinhalten, die nur ein oder zwei Anwendungsfälle vertieft untersuchen. Hierbei wurden alle Neubauämter einbezogen, um das BIM-Wissen in einer ersten Stufe zu multiplizieren. Es gibt derzeit in jedem Neubauamt mindestens ein Erfahrungsprojekt. Im März 2022 wurde die Implementierungsstrategie BIM-WSV 2030, als BIM-Masterplan für die Wasserstraße, veröffentlicht. Diese Implementierungsstrategie schreibt das Ziel- und Zukunftskonzept fort. Es wird darin die nachhaltige und phasenweise Implementierung von BIM bis 2030, mit dem Ziel der flächendeckenden Anwendung über den gesamten Lebenszyklus, beschrieben.



Abb. 2: Schleusenanlage Wedtlenstedt – Ansicht von Unterwasser (Quelle WNA Hannover)



Abb. 3: Schleusenanlage Wedtlenstedt – Oberhaupt Detail (Quelle WNA Hannover)

Mit der Etablierung aller Pilotprojekte ergab sich die Notwendigkeit der übergeordneten Steuerung und Koordinierung der BIM-Aktivitäten in der WSV. Hierzu wurde in der GDWS die Fachgruppe BIM-WSV eingerichtet. Grundlage ist der fortgeschriebene Projektauftrag der PG-BIM sowie die intensive, operative Unterstützung durch die vom BMVI gebundene Beratergruppe BIM D. Die Fachgruppe BIM-WSV gliedert sich in sechs Themenfelder, die die Bereiche Anwendungsfälle, Grundsätze und Prozesse, Objektkataloge, Wissensmanagement, Recht und IT-Strategie intensiv untersuchen und für die Implementierung weiterentwickeln. In monatlichen Abstimmungsbesprechungen mit den Erfahrungsprojekten wird der aktuelle Wissensstand ausgetauscht und Impulse und Erkenntnisse aus den Projekten aufgenommen. In spezialisierten Unterarbeitsgruppen werden die Fachthemen Vermessung, Betrieb und Unterhaltung, Nachrichtentechnik und Maschinenbau sowie CAD-Systeme behandelt. Hierbei ist Fachpersonal aus allen Bereichen und Organisationsebenen der WSV ebenso wie die Oberbehörden BAW, BfG und ITZBund vertreten.

Im Bereich der Standardisierung von BIM-Austauschformaten arbeitet die Fachgruppe intensiv in den Arbeitsgruppen von buildingSMART mit. Im internationalen Bereich wurde bereits ein Vorstandard (IFC 4.3) entwickelt, in den der Objektkatalog der WSV integriert werden konnte. National konkretisiert wird dieser Standard durch die Weiterentwicklung der Objekt- und Merkmalsätze im deutschen Chapter. So soll sichergestellt werden, dass die aus dem Standard kommenden Informationen mit den nationalen Spezifika im BIM-Portal allen am Bau Beteiligten einheitlich zur Verfügung gestellt werden können. Damit die Bedürfnisse und Erfahrungen der Praktiker hier Einfluss finden, ist eine intensive Abstimmung notwendig und sinnvoll. Diese Abstimmung bedarf im Gegenzug Zeit zur Willens- und Wissensbildung. So ist nachvollziehbar, dass ein Objekt- und Merkmalskatalog für den Wasserbau erst mittelfristig zur Verfügung gestellt werden kann.

Derzeit steht auch die Entwicklung einer gemeinsamen Zusammenarbeitsplattform (CDE) im Fokus. Diese CDE ist integraler Bestandteil einer partnerschaftlichen, strukturierten und transparenten Zusammenarbeit. Basis sind u.a. die aus einer BIM-Prozessanalyse ermittelten Aufgaben, Rollen und Rechtekonzepte. Weiterhin ist das Spannungsfeld aus den Anforderungen an die IT-Sicherheit gegenüber der Nutzerfreundlichkeit auszugleichen.



Abb. 4: Bestandsmodell SHW Lüneburg in Scharnebeck – Ansicht von Unterwasser (Quelle WNA Hannover)

Bei Betrachtung der Projektphasen ist für die Verwaltung die sehr lange Betriebsphase relevant. Wurde bisher Planung und Errichtung prioritär untersucht, wird zukünftig der Schwerpunkt die

Bauunterhaltung sein. Hierzu sind in der WSV eine Vielzahl von Fachverfahren im Einsatz, die alle speziellen Unterhaltungszwecken dienen. Die Verfahren sind historisch gewachsen und untereinander redundant und wenig kompatibel. Im Zuge der ganzheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus muss langfristig eine homogene und widerspruchsfreie IT-Umgebung aufgestellt werden. Die vorhandenen as-built-Modelle können dann als grafische Abfrage- und Austauschplattform innerhalb dieser IT-Umgebung genutzt werden. Weiterhin bilden sie die Grundlage für anstehende Instandsetzungsarbeiten, Rückbau oder Ersatz.

Mit Hilfe aller Beteiligten konnten so bereits Muster für Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA), BIM-Abwicklungspläne (BAP) und weitere Vertragsgrundlagen, wie BIM-Leistungsbeschreibungen und –verzeichnisse, erarbeitet werden. Für verschiedene Wasserbauwerke wurden BIM-Modelle mit unterschiedlichen Anforderungen und Detaillierungen und für unterschiedlichste Gewerke erstellt. Hierzu wurde verschiedene BIM-Konstruktionsprogramme genutzt. Die so gesammelten Erfahrungen sollen zukünftig zu WSV-einheitlichen Objekt- und Merkmalskataloge führen. Im Rahmen einer Prozessanalyse werden die Grundlagen der Zusammenarbeit im Bereich der Planung und künftig auch im Bereich der Bauausführung und Bauwerksunterhaltung untersucht. Erste Ergebnisse sind die Definition von BIM-Rollen mit zugehörigem Rechte- und Rollenkonzept für die IT-Umsetzung und Schulung. Zentraler Bestandteil diesen Prozessen ist die transparente und partnerschaftliche Zusammenarbeit. Um diese strukturiert und nachvollziehbar zu unterstützen, wird derzeit an einer für alle Beteiligten gleichermaßen komfortabel zu nutzenden elektronischen Zusammenarbeitsplattform (CDE) gearbeitet.

4. Ingenieurverband

Der digitale Wandel fordert und ermöglicht neue Wege in der Wertschöpfungskette Bau. Seitens der Planenden wurde der Prozess zur Einführung von BIM für Infrastrukturprojekte von Beginn an konstruktiv unterstützt. Der VBI ist Gründungsmitglied bei planen-bauen 4.0, dem „nationalen Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens“. Die Ingenieurbüros engagieren sich bei buildingSMART, um gemeinsame Standards zu entwickeln. Durch das Engagement in regionalen BIM HUBs und BIM Clustern tragen die Ingenieurbüros über alle Gewerke zu einem intensiven Erfahrungsaustausch bei. Frühzeitig wurden BIM-Leitfäden für die Planerpraxis erarbeitet, die sowohl den planenden und beratenden Ingenieuren als auch den Auftraggebern als Handreichung den Einstieg in den BIM-Planungsprozess vereinfachen sollten. Als Partner in der Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 waren die Planenden maßgeblich an der Erarbeitung von Handreichungen für den BIM-Prozess im Infrastrukturbereich beteiligt und unterstützen auch weiterhin über BIM Deutschland die Implementierung der Planungsmethode im Infrastrukturbereich in der Zuständigkeit des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie Bauvorhaben des Bundes in der Verantwortung des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB).

Durch die Einführung von BIM in Deutschland wurden und werden im Rahmen von Pilotprojekten Erfahrungen im Planungs- und Baubereich der öffentlichen Hand gesammelt. Die Erfahrungen im Bereich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße sowie des Hochbaus sind dabei mit allen Beteiligten intensiv zu reflektieren.

Damit die BIM-Methodik zum Standard werden kann, sind ein Kulturwandel im Planungs- und Bauprozess sowie neue Formen des kollaborativen Arbeitens erforderlich. Aber auch die grundsätzliche

Standardisierung gilt es weiter im Blick zu halten: Angefangen von offenen Schnittstellen zum Datenaustausch und deren Umgebung, über die verwendeten Softwareprodukte und Bauteilkataloge bis hin zu den notwendigen Fähigkeiten und Kompetenzen, die die im BIM-Prozess Beteiligten erlangen müssen. Es gilt weiterhin das BIM-Know-how bei den handelnden Ingenieurinnen und Ingenieuren in der Planungs- und Bauwirtschaft aber insbesondere auch der öffentlichen Hand und deren nachgeordneten Institutionen durch Fortbildungen zielgruppengerecht zu stärken. In diesem Zusammenhang verweist der VBI auf die grundsätzliche Berücksichtigung des „Referenzrahmens ASbau, 2018“, in dem das „digitale Bauen“ und die „Prinzipien und Anwendungen von BIM“ bereits aufgezeigt werden.

Durch die Einführung und Anwendung der BIM-Methode treten geänderte Leistungsbilder gegenüber einer klassischen Planung auf, die auf Grund zusätzlicher Leistungsanforderungen zu erhöhten Kosten führen. Leistungen, die über die klassischen Grundleistungen hinausgehen, sind im Rahmen der Pilotprojekte zu identifizieren und entsprechend durch den Bauherrn zu vergüten.

Die Anwendung der BIM-Methodik steht der bewährten Trennung von Planung und Realisierung nicht entgegen. Gerade durch die hohe Transparenz bei BIM-Projekten und infolgedessen die Minimierung von Schnittstellenproblemen wird das Prinzip „Erst Planen, dann Bauen“ gestärkt.

Inzwischen sind auch im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung eine Reihe von Pilotprojekten im Bereich der Planung beauftragt worden. Während insbesondere für Brückenbaumaßnahmen auf den Bauteilkatalog Brücken nach ASB-ING 2013 zurückgegriffen werden kann, sind für Wasserbauwerke wie z.B. Schleusen, Wehre, Liegestellen, Streckenausbauten vermehrte Anstrengungen zu unternehmen, um gemeinsame Standards zu entwickeln.

Aus Sicht des VBI muss das Tempo der Umsetzung der BIM-Ziele deutlich erhöht werden! Wir verstehen die hohen Anforderungen der WSV als Bundesverwaltung an die IT-Sicherheit – jedoch dürfen die komplexen IT-Verfahren nicht zum Hemmnis für die Implementierung der BIM-Methodik in den Planungsprozess werden. In den Projekten bedarf es der aktiven Mitarbeit der Verwaltung als Bauherr, die Bauherrnaufgaben im BIM-Prozess können nicht delegiert werden!

Wir sind qualifiziert aufgestellt und gern bereit, z.B. an der Erarbeitung eines Objekt- und Merkmalskatalogs für den Verkehrswasserbau aktiv mitzuwirken und dadurch die knappen Ressourcen in der Verwaltung und bei den Planenden wirksam einzusetzen.

5. Bauindustrie

Digitalisierung von Informationen, Abläufen und Schnittstellen spielt für die Unternehmen der Bauindustrie sowohl im Kontext mit den Projektpartnern als auch zur Verfolgung eigener Ziele eine immer größere Rolle.

Die Erkenntnis, dass eine möglichst frühzeitige Beschaffung aller erforderlichen Informationen mit gleichzeitiger Verfügbarmachung dieser für alle am Projekt Beteiligten erhebliche Vorteile in Bezug auf Qualität, Produktivität und Projekt-Erfolg bringt, wird bereits seit vielen Jahren im Hochbau veredelt. Insbesondere im privaten und gewerblichen Großprojekte-Bereich ist eine weitgehende Digitalisierung mittlerweile Standard.

Die zunehmende Komplexität der Bauaufgaben, die Übernahme von zusätzlichen Dienstleistungen durch die Bauunternehmen und steigende Anforderungen durch sich verändernde Randbedingungen, wie z.B. Energieeffizienz, steigende Baustoff- und Energiepreise und Klimawandel, lassen gar keine andere Wahl als möglichst effizient und gleichzeitig innovativ und qualitativ hochwertig zu bauen.

Dies Alles muss vor dem Hintergrund von begrenzten Personalressourcen gesehen werden. Deshalb wurden Methoden, die in der stationären Industrie zur Bewältigung der steigenden Anforderungen an die Produktivität und Qualitätssicherung entwickelt wurden, auf die Belange der Bauindustrie adaptiert. Beispiele hierzu sind etwa Lean Construction, auch Lean Management genannt, Lean-Production und im weiteren Verlauf das Last Planner System.

Diese Produktions-Methoden können als Vorläufer heutiger Instrumente gesehen werden, die aktuell durch BIM eine neue, digitale und umfassende Ausrichtung erlangen.



Abb. 5: Neubau Weserschleuse Minden (Quelle JOHANN BUNTE Bauunternehmung GmbH & Co. KG)

Die Bauindustrie sieht in BIM vorrangig eine auf kooperative Arbeitsmethodik aufgebaute Informations-Plattform, die die wesentlichen Aufgaben und Abläufe im Unternehmen und in der Zusammenarbeit mit Auftraggebern, Planern, Lieferanten, Nachunternehmern und sonstigen Beteiligten sowie die notwendigen Informationen über die zu errichtenden Bauwerke transparent abbildet und zur Verfügung stellt.

Zur Verfolgung dieser Ziele und zur Mitgestaltung der Methoden und Instrumente hat der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (HDB) verschiedene Expertengruppen auf Bundesebene und in den Ländern gebildet, die aus Unternehmern und deren Mitarbeitenden sowie aus Verbandsmitarbeitern bestehen. Sie erarbeiten Positionen, stellen den Erfahrungsaustausch untereinander sicher und arbeiten in externen Organisationen mit.

Bei buildingSMART beispielsweise arbeitet der Arbeitskreis digitalisiertes Bauen (AKDB) des HDB unter anderem in der Fachgruppe BIM-Verkehrswege mit. Dort arbeiten wir gemeinsam mit den Akteuren an einem BIM-Standard für die Klassen und Merkmale im Verkehrswegebau, um diese in BIM Deutschland als Standard für alle Bundesprojekte zu veröffentlichen.

Wir bringen unsere Erfahrungen und Anforderungen in die Erstellung einer "Normungsroadmap BIM" beim DIN-Institut ein.

Auf Länderebene arbeiten wir durch unsere Landesverbände in regionalen Organisationen mit, beispielsweise im BIM-Cluster NRW, dessen Geschäftsführung der Landesverband NRW übernommen hat.

Diese Gremien erarbeiten Positionspapiere, wie zum Beispiel das Papier „BIM im Verkehrswegebau“, mit denen unsere Forderungen und Vorschläge für die Öffentlichkeit und die Kooperationspartner sichtbar gemacht werden.

Aus den vorliegenden Erfahrungen rund um Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken aller Arten und Größen für alle erdenklichen Kundenkreise leiten sich auch unsere wesentlichen Ziele und Anforderungen an BIM im Wasserbau und an seinen weiteren Entstehungsprozess ab:

- Effizientere und transparentere Planungs-, Realisierungs- und Kommunikationsprozesse
- Frühe Beteiligung der Ausführungs-Kompetenzen im Projektablauf
- Strukturiertes und konsequentes Risiko-Management mit fairer Risiko-Verteilung
- Zusammenarbeit auf gemeinsamer Datenbank
- Kollaborative Projektarbeit aller Beteiligten
- Zeitnahe Verfügbarkeit aller für die wirtschaftliche Projektdurchführung notwendigen Informationen (Reporting)
- Verfügbarkeit eines standardisierten Kataloges von Klassen und Merkmalen, der von den Planern bis zu den Betreibern entlang der gesamten Wertschöpfungskette Bau genutzt wird
- Harmonisierte und so weit wie möglich standardisierte Lösungsansätze und Methoden in allen Regionen und bei allen Bauaufgaben
- Miteinander kompatible IT-Lösungen und Informations-Schnittstellen

Derzeit findet die BIM-Methodik in der Bauausführung erste Anwendung in Erfahrungs-Projekten mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) und mit anderen Auftraggebern. Sie wird teilweise als Element bei geeigneten Maßnahmen durch die Vergabe initiiert sowie in bestehende Verträge eingebracht.

Die daraus gewonnenen Erfahrungen müssen über die WSV hinaus kommuniziert und die sich daraus ergebenden notwendigen Entscheidungen zeitnah getroffen werden. Das passiert bisher noch nicht ausreichend. Es existieren noch immer keine allgemein anerkannten Grundlagen und Regeln. Der Informations- und Entwicklungsgrad sowie die Motivation zum Voranschreiten sind bei allen Beteiligten sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die notwendigen Ressourcen zur zügigen Umsetzung des Geplanten fehlen auf vielen Ebenen.

Untrennbar mit BIM-Prinzipien verbunden ist aus Sicht der Bauindustrie die Weiterentwicklung der Vergabe- und Vertragsmodelle hin zu partnerschaftlich geprägter, transparenter Zusammenarbeit in allen Phasen der Projekte. Die Bundesfachabteilung Wasserbau des HDB treibt gemeinsam mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und den Verbänden der Planungswirtschaft die Entwicklung und Pilotierung eines auf die Belange des Wasserbaus abgestimmten Partnerschaftsmodells voran. Dieses Modell soll die vertraglichen Regelungen so gestalten, dass der gemeinsame

Fokus auf den Projekterfolg gerichtet ist und nicht auf die Erfüllung der Interessen der einzelnen Parteien gegeneinander.

Flankierend hierzu werden Verhaltensweisen für die tägliche Arbeit im Projekt erarbeitet, die in einer gemeinsamen Charta münden werden. Weiterer Handlungsbedarf besteht darin, Bauen nachhaltig und robust zu gestalten. Robust bedeutet dabei, Anforderungen so zu definieren, dass die notwendigen Ziele erreicht werden, aber keine Übererfüllungen stattfinden, die Ressourcenverbrauch, Kosten und Komplexität unnötig in die Höhe treiben. Weiterhin ist es für eine partnerschaftliche Zusammenarbeit unerlässlich, dass sich alle Beteiligten dazu bekennen, unnötige Bürokratie abzubauen. Diese behindert sowohl die Einführung von BIM als auch die Entfaltung der wesentlichen beabsichtigten Wirkungen der Digitalisierung.

Die Entwicklung der BIM-Methoden für den Wasserbau muss aus Sicht der Bauindustrie zukünftig gemeinsam mit allen Beteiligten, abgestimmt mit den Entwicklungen in den anderen Infrastrukturbereichen und vor Allem im Kontext mit den hier geschilderten Begleitbedingungen verlaufen.

Die geschilderten Maßnahmen zusammengenommen werden ein weiteres Ziel der Bauindustrie und ihrer Projektpartner erreichbar machen, die Verbesserung von Image und Attraktivität der Berufe rund um die Wasserstraße. Moderne Arbeitsmethoden, teamgeprägte Projektarbeit und effiziente Abläufe, die durch unsere Mitarbeitenden spürbar positiv beeinflusst und gestaltet werden können, sorgen für die dringend notwendige Erschließung neuer Fachkräfte-Ressourcen und für eine wesentliche Verbesserung des Bildes der Branche in unserer Gesellschaft.

Die Erfahrungen aus ersten BIM-Versuchs-Projekten zeigen, dass wir noch am Anfang eines gemeinsamen Weges stehen, der jetzt erst richtig beginnt. Die bisherigen Aktivitäten der Beteiligten waren noch hauptsächlich nach innen gerichtet. Eine intensive Abstimmung und gemeinsame Entwicklung der Methoden und Strukturen muss jetzt mit der Durchführung von realen Projekten stattfinden. Es müssen zügig Standards gesetzt werden, beispielsweise für Objekt-Kataloge, IT-Sicherheit und für die erwarteten Auftragsumfänge der jeweiligen Dienstleister. Es muss eine Berücksichtigung und Implementierung der BIM Methoden in den technischen Regelwerken und in den Vertragsbedingungen der Auftraggeber erfolgen. Die zu treffenden Festlegungen und die sich daraus ergebenden Methoden müssen praxisbezogen und pragmatisch sein und die Belange von Planung, Bau und Betrieb gleichermaßen berücksichtigen.

Federführend für die meisten dieser Schritte sind die Auftraggeber. Sie müssen die ersten Impulse setzen und ihre Vorgaben und Anforderungen formulieren.

6. Fazit

Der Fokus bei der Implementierung der BIM-Methodik im Bereich der Wasserstraßeninfrastruktur muss vermehrt auf der Umsetzung liegen. Mit Blick auf die Implementierungsstrategie 2030 muss die Geschwindigkeit bei der Umsetzung der Ziele deutlich erhöht werden. Voraussetzungen für die dafür notwendige, aktive Vorreiterrolle der Verwaltung sind die Bereitstellung der dafür erforderlichen Ressourcen. Von allen Beteiligten wird eine erhöhte Risikobereitschaft im Hinblick auf die partnerschaftliche Zusammenarbeit in neuen Vertragsmodellen verlangt.

BIM muss als gemeinsame Aufgabe verstanden und gemeinsam angegangen werden! Verwaltung, Bauindustrie und Planer müssen von den Erfahrungen der Pilotprojekte partizipieren.

7. Ausblick

Übergeordnetes Ziel der Implementierung der BIM-Methodik ist die Optimierung der Prozesse einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit mit hoher Transparenz. In einer gemeinsamen Expertengruppe aus Verwaltung, Bauindustrie und Ingenieurbüros sollen deshalb Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, um gemeinsam den Weg dahin zu gestalten. Ein unterstützender Schritt hierbei ist das BIM Portal des Bundes, in dem einheitliche Daten zentral verfügbar gemacht werden.

Mit einer von Verwaltung, Bauindustrie und Ingenieurverband erarbeiteten Charta der Zusammenarbeit wird der dafür erforderliche Kulturwandel unterstützt. Flankiert wird der Implementierungsprozess für BIM durch die Erarbeitung alternativer, kollaborativer Vertragsmodelle für die Umsetzung komplexer Infrastrukturmaßnahmen im Bereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung.

In den nächsten Jahren ist in den BIM-Projekten weiter Entwicklungsarbeit zu leisten. Sich daraus ergebende Änderungen der Vertragsgrundlagen (z.B. Änderung Bauteilkataloge) dürfen nicht einem vertragsjuristischen Taktieren geopfert werden. Die hier auch in Zukunft zu leistende Pionierarbeit kann nur zum Erfolg führen, wenn alle gemeinsam eine Lösung herbeiführen wollen!

Juristische Regelungen zum Urheber- und Nutzungsrecht der erstellten Modelle müssen ebenso Eingang in Planungs- und Bauverträge finden, wie die Auswirkungen der BIM-Methodik z.B. auf die Vergabe von Bauleistungen sowie die Vergütungsregelungen der HOAI oder der VOB. Die dazu im Rahmen der Beratungsleistungen von BIM4INFRA2020 bzw. BIM Deutschland erarbeiteten Empfehlungen müssen zeitnah Eingang in die Praxis finden.

SmartKai: Ein Assistenzsystem zur Verhinderung von Schäden an Schiffen und Hafeninfrasturktur

Hilko Wiards, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg
Jan Mentjes, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg
Arnold Akkermann, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg
Dr. Matthäus Wuczowski, Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Oldenburg
Dr. Sebastian Feuerstack, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg
Prof. Dr. Axel Hahn, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Oldenburg

Das Ziel von SmartKai ist die Entwicklung eines schiffsunabhängigen Assistenzsystems, das durch eine hafenseitige Infrastruktur realisiert wird und sich an Lotsen und das nautische Personal auf einer Schiffsbrücke richtet. LiDAR, AIS und Wetterinformationen werden genutzt, um eine kontinuierliche und präzise Bewertung der Position und der Bewegungen eines Schiffes, das sich der Hafeninfrasturktur nähert, zu ermöglichen.

1. Einleitung

Die durch den wachsenden Handel hohe und steigende Verkehrsdichte in Hafengebieten kann zu gefährlichen Situationen führen. Schiffe müssen beim Ein- und Auslaufen in Hafengebieten sowie beim An- und Ablegen in schwer einschätzbare Bereiche manövrieren. Insbesondere in tideabhängigen Häfen ändern sich Wasserstände und damit die Rahmenbedingungen für Schiffsmanöver schnell – manche Häfen können nur zu entsprechenden Wasserständen angefahren und verlassen werden. In engen Zeitfenstern kommt es dann zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen. Schäden an Schiffen und Hafeninfrasturktur bedeuten in diesen Situationen bestenfalls Sachschäden, können aber auch zu Personenschäden oder Umweltverschmutzung führen oder die Hafeninfrasturktur für längere Zeit blockieren.

Hier setzt das Forschungsprojekt SmartKai an. Im Rahmen dieses Digitalisierungsprojekts wird in einem Konsortium mit Partnern aus der Hafeninfrasturktur, Sensorindustrie und der Forschung ein schiffsunabhängiges Anlegeassistenzsystem entwickelt, welches die sichere Navigation zur Vermeidung von Beschädigungen an der Hafeninfrasturktur und Schiffen ermöglicht. Dazu wird von der Firma SICK ein neuer LiDAR-Sensor entwickelt und in Wilhelmshaven und Cuxhaven, zwei Häfen des Hafeninfrasturkturunternehmens Niedersachsen Ports, landseitig an Punkten mit hoher Unfallgefahr im Hafenbecken, der Schleuse und einer Kaianlage installiert.

2. Ansatz

Der in diesem Projekt verfolgte Ansatz zielt darauf ab, anstatt der Schiffe den Hafen selbst mit dem Assistenzsystem auszustatten. Dies hat den Vorteil, dass der Hafenbetreiber die Punkte mit hoher Unfallgefahr und kritischer Infrastruktur identifizieren und entsprechend ausstatten kann, ohne Auflagen bezüglich der Schiffssensorik zu erheben. Bei den Punkten im Hafen handelt es sich beispielsweise um Hafeneinfahrten, Stromliegeplätze, Schleusen oder RoRo-Brücken.

Um ein möglichst ganzheitliches Lagebild zu schaffen, wird dabei auf den Einsatz heterogener Sensorik gesetzt. Diese lässt sich in die zwei Kategorien Positions- und Umweltsensorik einteilen. Zur Ermittlung der Position werden LiDAR-Sensoren, Nahbereichsradare und AIS-Daten verwendet. Dies erlaubt es, ein anfahrendes Schiff bereits auf einige Seemeilen Entfernung per AIS zu detektieren. Nähert sich das Schiff einem kritischen Bereich, übernimmt die LiDAR- und Radarsensorik, um genaue Abstände, Geschwindigkeiten und Konturen zu bestimmen. Dieses Bild wird angereichert mit Umweltdaten, um einen besseren Überblick über die aktuelle Situation zu erhalten. Dazu gehören Wind-, Strömungs- und Sichtweitendaten der Umgebung.

Die Daten der Sensorik werden für die unterschiedlichen Bereiche des Hafens in einer Datenverarbeitungskette aufgezeichnet, aufbereitet und bereitgestellt. Für die Anzeige der Daten werden zielgruppengerechte Darstellungsformen erstellt. Für den Lotsen beispielsweise eine liegeplatzzentrierte Sicht, um einen genauen Eindruck der Situation zu erhalten. Für den Hafenkapitän wird eine Gesamtübersicht über alle Liegeplätze angeboten. Die Wahl des Endgeräts ist dabei flexibel und kann auf die Bedürfnisse angepasst werden. Das System kann somit sowohl auf der PPU (Portable Pilot Unit, d.h. dem Tablet des Lotsen), als auch auf dem Computer der Hafenmeisterei genutzt werden.

3. Anforderungserhebung

Die Erhebung der Anforderungen an das SmartKai-System wurde auf zwei Wegen durchgeführt. Zum einen wurden Gespräche mit den Hauptnutzern, den Lotsenbrüderschaften, geführt. Hier haben die Hafen- und die Elbelotsen in mehreren Treffen und Gesprächen Anforderungen und Wünsche an das System formuliert aber auch Feedback zum bisherigen Stand und Möglichkeiten für Verbesserungen aufgezeigt.

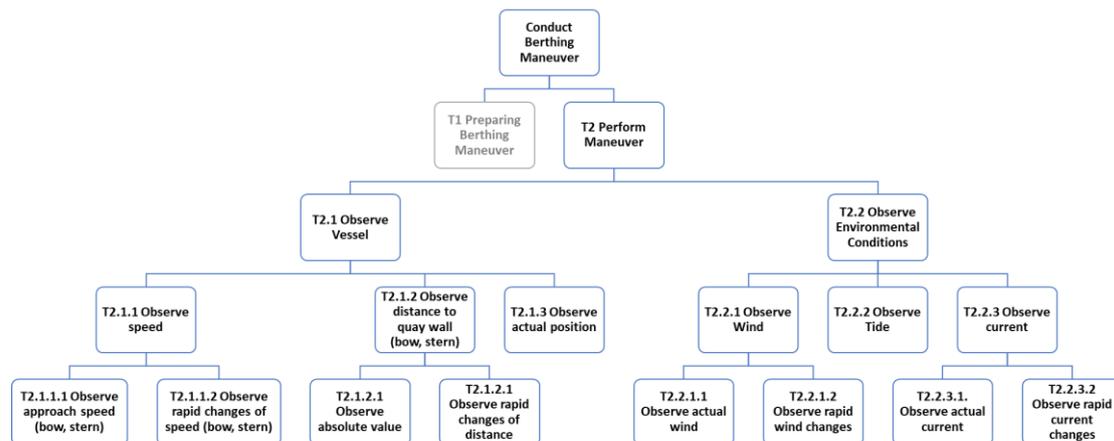


Abb. 1: Aufgabenanalyse auf Basis der Interviews mit den Hafen- und Elblotsen (adaptiert aus [1])

Zum besseren Verständnis des Aufgabenfelds wurde unter anderem eine Aufgabenanalyse mit den Lotsengruppen durchgeführt (siehe Abb 1). Hierin wurden die Anforderungen eingeordnet. Diese beinhalteten zum Beispiel, welche Distanzen situationsabhängig wichtig sind, welche Umweltparameter von Interesse und welche Parametrisierungen auf der Oberfläche notwendig sind. Auch wurden Situationen wie Anlegemanöver mit Schlepperhilfe besprochen und welche Herausforderungen sich hier durch die mögliche Verdeckung der Schiffe ergeben.

Zusätzlich wurden weitere Anforderungen auf Basis bereits existierender, regulierter Assistenzsysteme erhoben, indem unter anderem Vorgaben der IMO (*International Maritime Organization*)

hinzugezogen wurden. Diese geben für GNSS Systeme vor, wie hoch die Positionsgenauigkeit für die Nutzung bei Anlegemanövern sein muss, welche Updateintervalle einzuhalten sind und wie hoch die maximale Ausfallzeit sein darf [2].

Eine Anforderung der Lotsen bezog sich darauf, dass das System nur in den Fällen Daten anzeigen darf, in denen es auch funktioniert. Daher sollen keine Daten übermittelt werden, bei denen sich das System unsicher über die Qualität ist. Basierend darauf entwickelten wir das Konzept einer sog. Berthing Support Area (BSA) [3]. Dieses sieht vor, ein Gebiet auf einer Seekarte zusammen mit einschränkenden Bedingungen zu definieren, in denen ein Assistenzsystem in der Lage ist Anlegemanöver zu ermöglichen.

In einem ersten Schritt wird eine Menge an Einflussparametern P identifiziert. Diese setzen sich aus den Teilmengen $P_{control}$, $P_{construction}$ und $P_{environmental}$ zusammen. Die Menge $P_{control}$ beschreibt Parameter, die durch die Steuerung des Schiffs beeinflussbar sind (Speed over ground, Heading oder Distanz zur Kaimauer). In der Menge $P_{construction}$ werden die Parameter zusammengefasst, die bereits durch die Konstruktion des Schiffs gegeben sind, beispielsweise die Hüllenform, Lackierung oder Tiefgang. Parameter, die durch die Umwelt definiert werden, werden in der Menge $P_{environmental}$ zusammengefasst. Diese beinhalten beispielsweise die aktuelle Sichtweite, Tidenstände, Winde und Strömungen.

Auf Basis der als relevant identifizierten Parameter wird in einem zweiten Schritt eine Menge an Bedingungen C definiert. Diese beinhalten Grenzwerte oder Mengen gültiger Werte für die jeweiligen Parameter, in denen das System definiert ist. In Kombination mit dem Polygon des Seegebiet A_{poly} ergibt sich dann folgende Gültigkeitsbedingung:

$$BSA \text{ is valid} \Leftrightarrow \forall c_p \in C: p.value \in c_p \vee ship.hull \subset A_{poly}$$

4. Testaufbau

Der Aufbau des Systems wurde in zwei Zyklen durchgeführt. Zunächst wurde im Sommer 2020 mit einem prototypischen Aufbau in Wilhelmshaven begonnen, bei dem ein Test der Elektronik, Datenaufzeichnung, Wetterbeständigkeit und Schnittstellen durchgeführt wurde. Am Hannoverkai wurden drei 2D LiDAR-Scanner des Partners SICK, ein Windmesser, ein Sichtweitensensor, eine AIS Antenne und zwei Kameras installiert (siehe Abb. 2). Dieser Standort bot sich als erster Durchstich an, da es sich um einen geschleusten Bereich ohne Tideneinfluss handelt und durch die lokalen Gegebenheiten die Simulation einer RoRo-Brücke umgesetzt werden konnte.

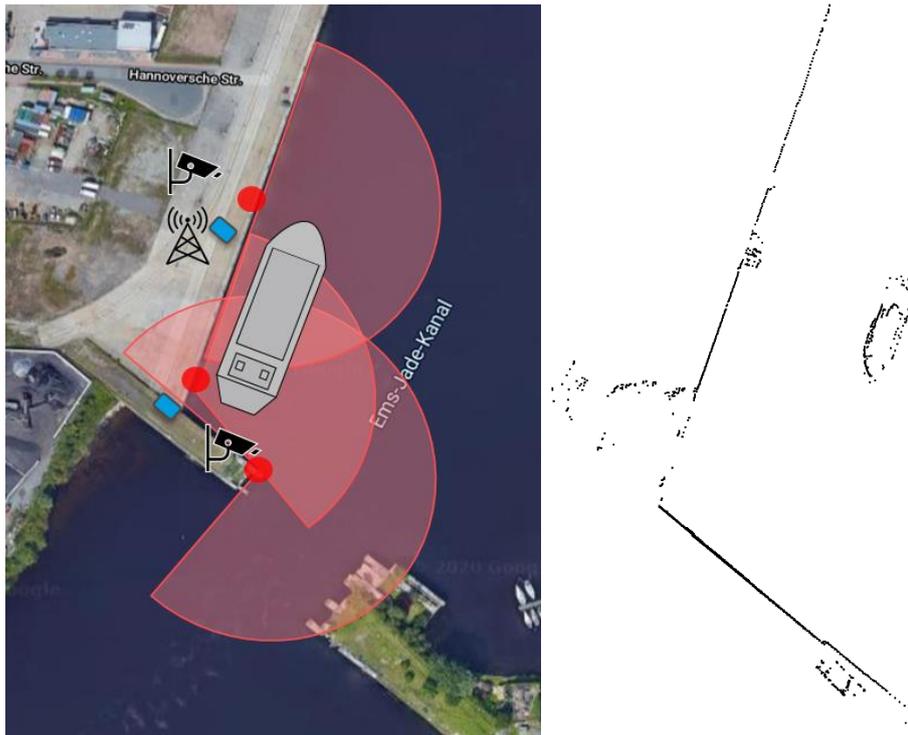


Abb. 2 links: Aufbau des Systems in Wilhelmshaven (rot Laserscanner, blau Sensorknoten);
rechts: Scandaten mit Schiff im Beobachtungsbereich

Die Daten der Sensorik wurden in zwei Sensorknoten (Abb. 3) entgegengenommen. Diese befinden sich in einem gemeinsamen Netzwerk und führen die aufgezeichneten Daten live zusammen, filtern und verarbeiten diese und stellen die berechneten Werte anschließend über eine Programmierschnittstelle zur Verfügung.



Abb. 3: Sensorverarbeitungsboxen mit IndustriePC, Backup-Batterie und verschiedenen Netzwerk-Schnittstellen

Im Rahmen des Anwendungsfalls Anlegemanöver wurde hier auch das Konzept der Berthing Support Area (BSA) angewandt (Kap. 3). Zur Ableitung der Fläche in denen das Assistenzsystem funktioniert wurde auf Basis der Sensoreigenschaften ein mathematisches Modell erstellt.

Dieses Modell erstellt eine Flächenkarte der Sensorauflösung für jede Position. Da die Laserscanner die Impulse in einem gewissen Winkel zueinander aussenden, verringert sich mit steigender Distanz die Dichte der Messwerte. Als Kriterium wurde für Anlegemanöver deshalb festgelegt, dass bei einer angenommenen geraden Schiffshülle in jedem fünf Meter Bereich der Kaianlage eine spezifizierte Anzahl von Messpunkten detektiert werden muss. In Abb. 4a ist die Beziehung zwischen Sektion der Kaikante, Laserstrahlen und Schiffswinkel aufgetragen. In Abb. 4b kann nun die dazu gehörige Konturkarte gesehen werden, welche dies für zwei Laserscanner darstellt. Dem Aufbau in Wilhelmshaven folgend ist der Abstand der zwei Laserscanner bei 80 m und das Schiff wird in dieser Darstellung mit einem relativen Anlegewinkel von -15° berechnet.

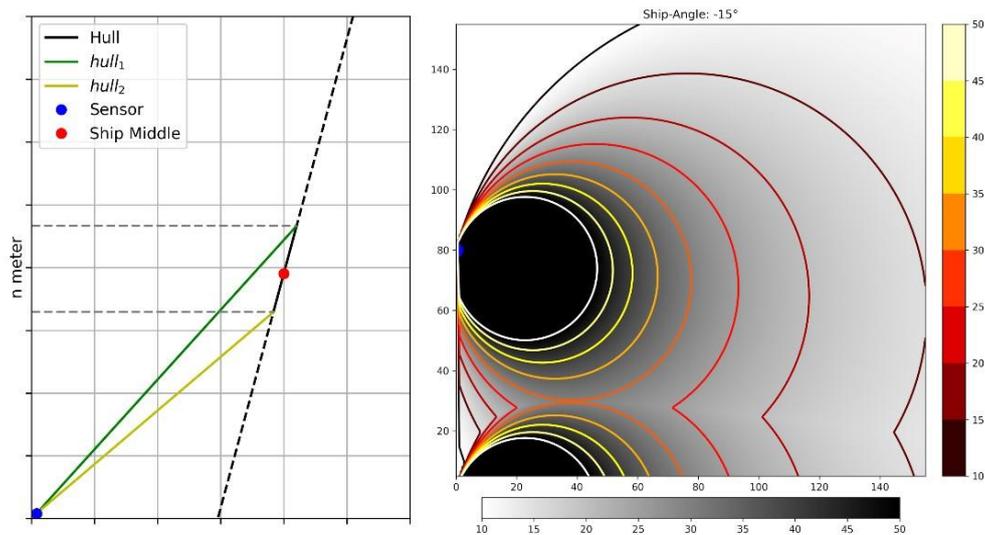


Abb. 4 (a): Beziehung zwischen Kaikante (vertikale Achse), Laserstrahlen und Ausrichtung des Schiffs
(b) Kontur-Karte für jede Position der Karte mit der Anzahl an Strahlen die eine 5 m Sektion entlang der vertikalen Achse treffen bei einem relativen Anlegewinkel von -15° zur Kaikante

Der Aufbau in Wilhelmshaven wurde bis zum Abbau im Sommer 2021 dauerhaft betrieben. Aktuell ist das System in Cuxhaven im Einsatz, um ein breiteres Spektrum von Anwendungsfällen, auch unter schwierigen Wetterbedingungen, zu erproben. Hierbei wurden in Zusammenarbeit mit Niedersachsen Ports die Anwendungen Anlegemanöver, Hafeneinfahrt und Schleuseneinfahrt identifiziert. Diese sind in Abb. 5 dargestellt. Um dieses Gebiet abzudecken, wurden insgesamt 10 neu entwickelte 3D LiDAR-Sensoren sowie die bereits in Wilhelmshaven genutzten 2D-LiDAR und Umweltsensoren installiert.

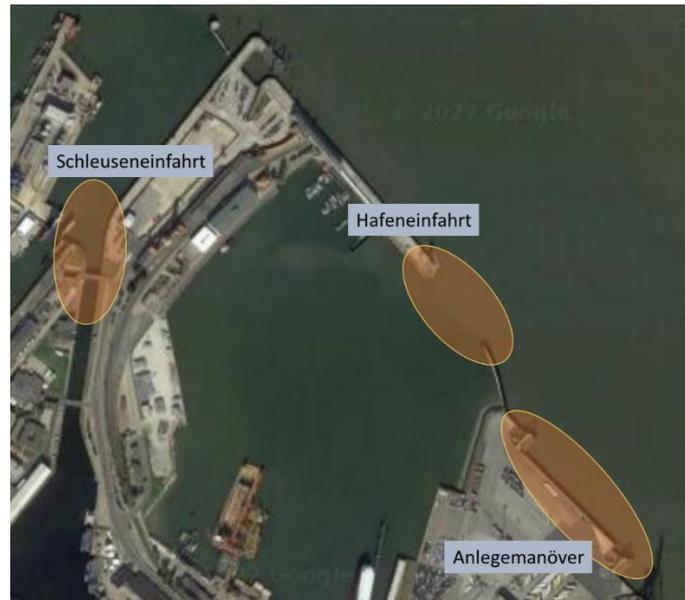


Abb. 5: Anwendungsfälle des Aufbaus in Cuxhaven - © Google Earth

5. Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung auf den Sensorboxen wird mit Hilfe eines verteilten Datenstrommanagementsystems (DSMS) durchgeführt. Dieses erhebt heterogenen Sensordaten auf den jeweiligen Boxen, verarbeitet sie weiter und speichert sie. Die Speicherung ermöglicht eine nachträgliche Betrachtung der Situationen im Labor, indem die Daten wieder abgespielt werden können. Der Aufbau des DSMS erlaubt es, eigene Berechnungen und Schnittstellen zu ergänzen, um zusätzliche Sensorik oder alternative Hersteller zu nutzen.

In Abb. 6 ist ein abstrahierter Workflow dargestellt, um Abstände, Geschwindigkeiten und Kurse aus den LiDAR-Daten zu erhalten. Im ersten Schritt, der Vorverarbeitung werden zunächst die Daten der LiDAR-Scanner empfangen, transformiert und als Punktwolken gefiltert. Da die Positionierung der Sensoren bekannt ist, kann mit Hilfe einer Transformationsmatrix eine Überführung dieser Punktwolken in ein gemeinsames Geo-Koordinatensystem geschehen. Auf diesem wird eine Filterung der Messungen auf statische Ziele durchgeführt, Rauschen identifiziert und entfernt.

Im zweiten Schritt, der eigentlichen Verarbeitung, erfolgt nun eine Gruppierung und die Verfolgung von Schiffen in der Punktwolke. Diese werden über die Zeit mit einem Tracker verfolgt und aus der Position und ihrer Änderung werden Abstände (zur Kaimauer, RoRo-Brücke, etc.) und abgeleitete Werte wie Geschwindigkeiten und Kurse bestimmen.



Abb. 6: Workflow zur Bestimmung von Geschwindigkeiten, Kursen und Distanzen mit abschließender Evaluation

6. Evaluation

Die Evaluation von SmartKai geschieht auf mehreren Ebenen. Zum einen erfolgt eine Bewertung der Leistungsfähigkeit auf Basis von passivem Verkehr, zum anderen wird durch Testkampagnen die Betrachtung besonderer Situationen in einer kontrollierten Umgebung ermöglicht.

Da das System im Dauerbetrieb läuft, lassen sich im Nachhinein Aussagen über die Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit des Systems treffen. Gerade in extremen Wetterlagen wie Schnee, Hagel aber auch orkanartigen Böen und Sturmfluten muss das System zuverlässig funktionieren. So muss die Installation des Systems, die Verkabelung und die Funkkommunikation diesen Bedingungen standhalten können.

Indem der passive Verkehr im Labor untersucht wird, lässt sich die Leistungsfähigkeit, beziehungsweise die Abnahme dieser in widrigen Wetterlagen, bestimmen. Indem zu den Daten der LiDAR-Scanner die Daten des Sichtweitenmessgeräts hinzugezogen werden, kann die Abnahme des Detektionshorizonts bestimmt werden.

Die Evaluation der Zuverlässigkeit des Systems wurde durch eigens durchgeführte Testkampagnen erreicht. Für diese wurde auf Basis der gesammelten Anforderungen (siehe Kapitel 3) ein Szenarienkatalog erstellt, um möglichst viele Situationen und Anforderungen abzudecken und zu testen.

Die erste Testkampagne wurde in Wilhelmshaven im Herbst 2020 durchgeführt. Diese wurde mit dem Arbeitsschiff Argus von Niedersachsen Ports und dem Forschungsboot Josephine vom DLR durchgeführt (Abb. 7).



© Axel Hahn 2020

Abb. 7: Forschungsboot Josephine (vorne) und Arbeitsschiff Argus (hinten)

Der in dieser Testkampagne eingesetzte Szenarienkatalog umfasste insgesamt 18 Szenarien, darunter Anlegemanöver, Durchfahrten und Mehr-Schiff-Situationen. Zusätzlich wurde ein Teil der Szenarien mehrfach – unter abgeänderten Parametern (z.B. Geschwindigkeit und Anfahrtswinkel) – durchgeführt.

Um eine Bewertung der Systemgenauigkeit erreichen zu können, wurden neben den gemessenen Daten der Laserscanner zusätzlich auch Positionsdaten der Schiffe aufgenommen. Dazu war jedes der Schiffe mit einer DGPS-Antenne als Referenzsensor ausgestattet.

Nach Abschluss der Testkampagne ließen damit dann Vergleiche zwischen den Messwerten des Systems und den Positionsdaten der Schiffe durchführen. Dies ist für ein Szenario beispielhaft in Abb. 8 dargestellt.

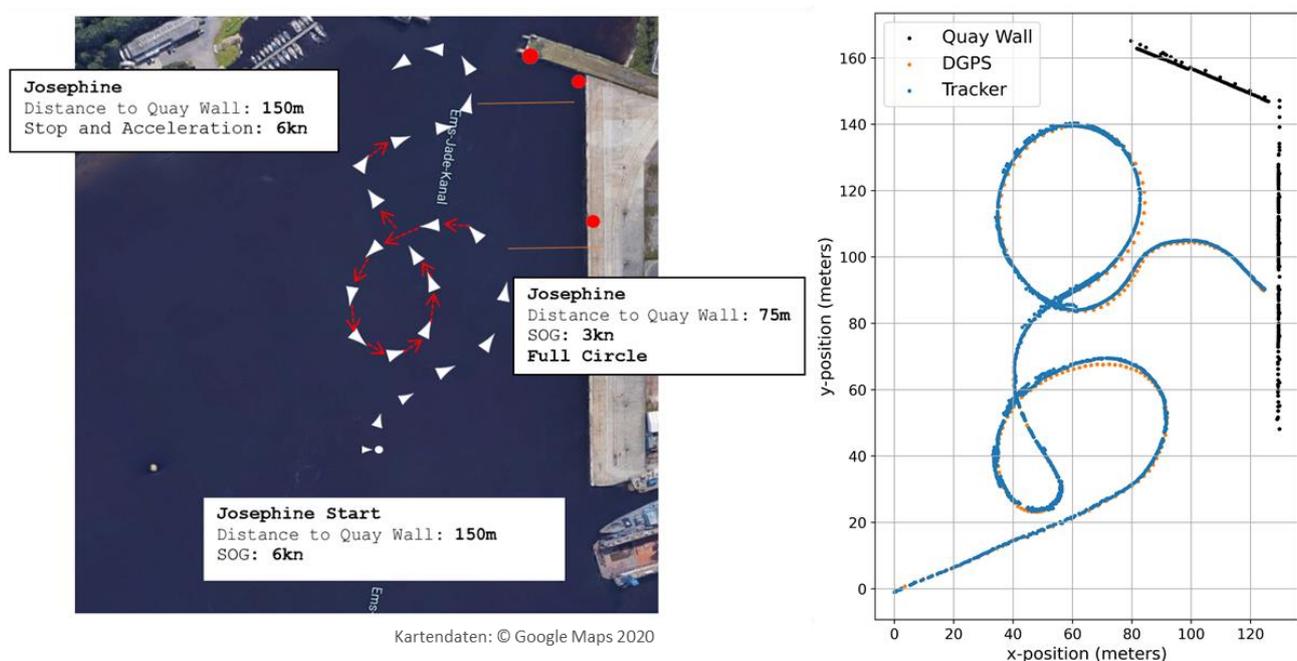


Abb. 8 rechts: Zu fahrendes Szenario; links: Vergleich aus bordeigener DGPS Messung (orange) und der Messung des Systems (blau)

Für den Aufbau in Cuxhaven ist die Testkampagne aktuell in Planung. Hier wird der Fokus zum einen auf der Evaluation des von SICK neu entwickelten LiDAR-Sensors liegen. Zum anderen kommen neben dem Anwendungsfall der Testkampagne aus Wilhelmshaven (Anlegemanöver) zwei weitere für die Hafeninfrastruktur relevante Anwendungsfälle (Hafeneinfahrt und Schleuseneinfahrt) hinzu.

7. Projektumfang und -laufzeit

Mit SmartKai wird in einem anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojekt ein hafenseitiges Assistenzsystem entwickelt. Das Projekt wird in der Förderrichtlinie Innovative Hafentechnologien (IHATEC) des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) über eine Laufzeit von drei Jahren von Dezember 2019 bis November 2022 gefördert. Das Projektvolumen umfasst 2,4 Mio. Euro, gefördert mit einem Förderanteil von 73% durch das BMDV.

Quellen

[1] M. Falk, M. Saager, M.-C. Harre, und S. Feuerstack, „Augmented Berthing Support for Maritime Pilots Using a Shore-Based Sensor Infrastructure“, in *HCI International 2020 – Late Breaking*

Posters, Bd. 1294, C. Stephanidis, M. Antona, und S. Ntoa, Hrsg. Cham: Springer International Publishing, 2020, S. 553–559. doi: 10.1007/978-3-030-60703-6_71.

[2] IMO (International Maritime Organization), „Resolution A.915(22)“. 22. Januar 2002. [Online]. Verfügbar unter: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.915%2822%29.pdf>

[3] J. Mentjes, H. Wiards, und S. Feuerstack, „Berthing Assistant System Using Reference Points“, *J. Mar. Sci. Eng.*, Bd. 10, Nr. 3, S. 385, März 2022, doi: 10.3390/jmse10030385.

BIM2Twin – Ein Einblick in das Projekt der neuen Köhlbrandquerung

Momme Petersen M.Sc., Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
Dipl. Ing. (FH) Christian Kielhorn, Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
Daniel Dombeck, Hamburg Port Authority AöR, Hamburg

Die Köhlbrandbrücke ist Teil der Hauptverkehrsroute des Hamburger Hafens. Gleichzeitig führen die stets wachsenden Verkehrsströme und -lasten dazu, dass bereits zum jetzigen Zeitpunkt erhebliche Schäden an der Köhlbrandbrücke nachzuweisen sind und das Bauwerk nur mit erheblichen Instandhaltungsmaßnahmen weiter betrieben werden kann. Mit Blick in die Zukunft kann lediglich eine neue Querung als Ersatz für die Köhlbrandbrücke den verkehrlichen und wirtschaftlichen Anforderungen des Hamburger Hafens gerecht werden.

Die von der Hamburg Port Authority (HPA) beauftragte Machbarkeitsstudie kam 2018 bei der Untersuchung eines möglichen Absenktunnels, einer Brückenvariante und eines Bohrtunnels zu dem Ergebnis, dass eine neue Querung als Bohrtunnel entsprechend den Anforderungen des Hafens die zu favorisierende Variante ist.

Die HPA hat das Ziel, ihre physische Infrastruktur auf Basis von digitalen Zwillingen (Digital Twins) mit der Methode Building Information Modeling (BIM) besser planen, bauen und betreiben zu können. Zur Erreichung dieses Ziels ist geplant, sukzessiv die Infrastruktur des Hamburger Hafens in Form von 3D-Bauwerksmodellen zu digitalisieren und diese über ihren gesamten Projektlebenszyklus mit relevanten Informationen anzureichern, mit dem Zweck, die Modelle zur kontinuierlichen Informationsbereitstellung und des transparenten Informationsaustausches unter allen Prozessbeteiligten verwenden zu können.

Das Bauvorhaben eines Bohrtunnels ist komplex. Gleichzeitig besteht die Anforderung, die vorhandenen wirtschaftlichen Nutzungen sowie den Verkehr während der Bauzeit so wenig wie möglich zu belasten. Aus diesem Grund wurde in einem ersten Schritt ein Bestandsmodell des Planungsgebietes angefertigt, in das ein vorhandenes Modell der Köhlbrandbrücke integriert werden konnte. Ziel ist es sämtliche Planungsbelange in Bezug zueinander betrachten zu können und eine konsolidierte, gesamthafte Informationsbasis für die Projektabwicklung zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig ist das Bestandsmodell selbst die Grundlage für die Umsetzung weiterer BIM-Anwendungsfälle im Projekt, wie der modellbasierten [...] Bauablaufsimulation (Termin- und Logistikplanung) und der Kostenplanung.

Mit Hilfe des Variantenvergleichs kann die Vorzugsvariante in Bezug auf die Konstruktion als auch auf den Verlauf der Trasse besser visualisiert werden. Die HPA unterstützt durch den Einsatz von BIM das Projekt und möchte gleichzeitig auf Basis der erlangten Erfahrungen die Standardisierung von BIM für die HPA vorantreiben.

1. Einleitung

Die Köhlbrandbrücke ist seit dem Jahr ihrer Inbetriebnahme im Jahr 1974 im Stadtbild präsent. Mit täglich über 35.000 passierenden Fahrzeugen ist sie die wichtigste Verkehrsverbindung im Hamburger Hafen.

Das Bauwerk besteht aus einer Rampenbrücke im Westen, der Strombrücke und einer Rampenbrücke im Osten und überspannt als Schrägseilbrücke den 325m breiten Köhlbrand. Die Gesamtlänge des Brückenzugs beträgt 3618m.



Abb 1: Blick auf die Köhlbrandbrücke / FalconCrest (DJI_0016 vom 16.08.2019), ©HPA

Das wachsende Verkehrsaufkommen, vor allem der erhöhte Anteil an Schwerlastverkehr (ca. 35 Prozent), haben ihre Spuren an dem Bauwerk hinterlassen. Die Zustandsbeurteilungen und statischen Nachrechnungen des Bauwerks prognostizieren eine wirtschaftliche und technische Lebensdauer des Bauwerks bis zum Jahr 2030. Zur Gewährleistung der Lebensdauer wurden verschiedene Konzepte entwickelt und etabliert. Hierzu zählt ein LKW-Überholverbot auf der gesamten Brücke, ein Abstandsgebot von 50 m, sowie bereichsweise Ertüchtigungsmaßnahmen des Bauwerks. Zusätzlich wurde zur Gewährleistung des Betriebs ein sensorbasiertes integrales Überwachungskonzept etabliert, welches Zustandsinformationen zum Bauwerk in Verbindung mit Echtzeitdaten (z.B. Wind, Temperatur) zur Verfügung stellt.

Gleichzeitig besteht die Problematik, dass Großschiffe über 13.000 TEU aufgrund der maximalen Durchfahrtshöhe von NHN +53 m die südlich der Brücke liegenden Terminals nicht erreichen, was die Entwicklungspotentiale dieser Terminals erheblich einschränkt.

Die kurze Restlebensdauer in Verbindung mit der begrenzten Durchfahrtshöhe der Köhlbrandbrücke erfordern den rechtzeitigen Neubau einer zukunftssicheren Köhlbrandquerung.

2017 beauftragte die HPA eine Machbarkeitsstudie zur Untersuchung der Querungsvarianten eines Absenktunnels, einer Brücke und eines Bohrtunnels. In der Studie wurden die Bauwerke so dimensioniert, dass sie den zukünftigen verkehrlichen Anforderungen sowie der zu erwartenden Schiffsgrößenentwicklung gerecht werden. Die Studie ergab, dass die zu favorisierende Querung der Bohrtunnel ist. Diese besteht im Kernstück aus zwei parallelen Tunnelröhren mit jeweils 15,5 m Außendurchmesser und weist eine insgesamte Trassenlänge von ungefähr 3 km auf.

Die hohe Komplexität des Projekts, die Vielzahl an Informationen und beteiligter Akteure sowie die Empfehlungen der Reformkommission Bau¹ führten zu der Entscheidung, im Projekt die Methode Building Information Modeling (BIM) anzuwenden.

2. BIM2Twin – Digitalisierung des Hamburger Hafens

Die HPA hat das Ziel, ihre physische Hafeninfrastuktur auf Basis von digitalen Zwillingen besser betreiben zu können. Kern dieses Ziels ist es die vorhandene Infrastruktur sukzessiv digital zu erfassen und mit den jeweiligen relevanten Informationen anzureichern (siehe Abb 2) Grundlage dafür sind die BIM-Modelle.

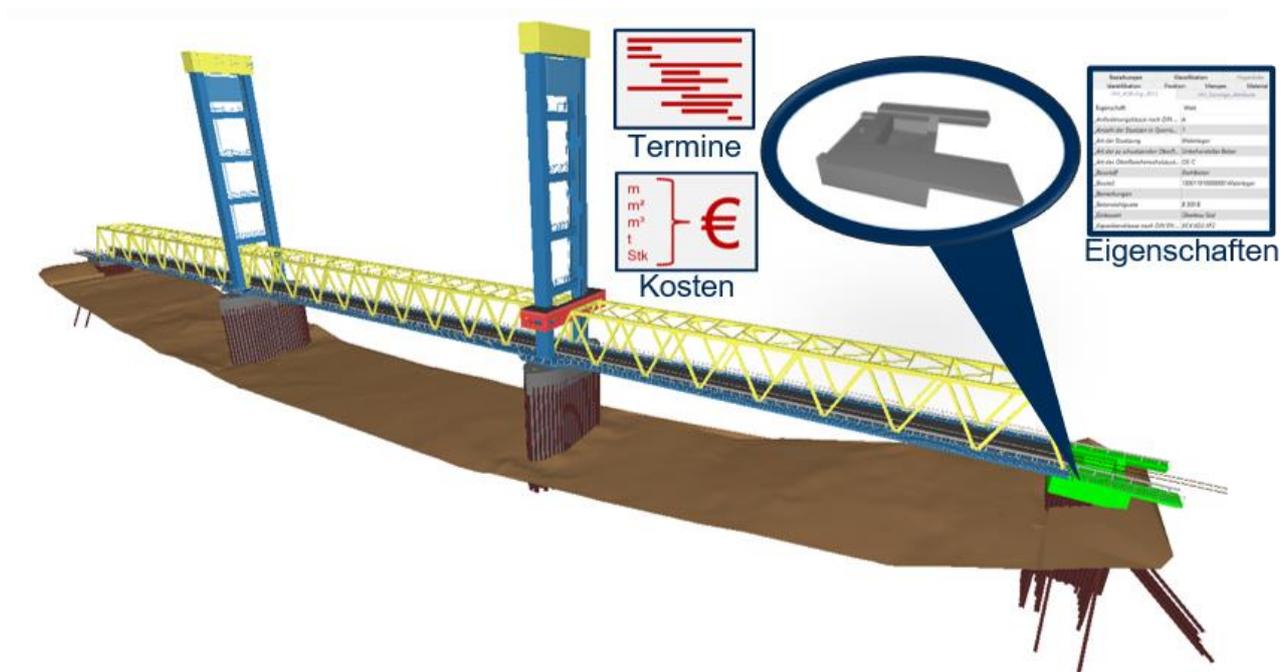


Abb 2: Beispielmodell inkl. Informationen / ©HPA

Auf Basis dieser Modelle können mit der BIM-Methode verschiedene Anwendungsfälle im gesamten Lebenszyklus (Planung / Ausführung / Betrieb) eines Bauwerkes umgesetzt werden. Bei der Umsetzung der Anwendungsfälle werden die Modelle kontinuierlich gepflegt und aktualisiert.

¹ BMVI 2015

Zusätzlich zu dieser modellbasierten Strukturierung der Bauwerksinformationen bietet BIM vor allem die Möglichkeit die Projektkommunikation zu optimieren. Kern der Methodik ist die kooperative Arbeitsweise, die sich durch die Kommunikation und das Datenmanagement in einer gemeinsamen Datenumgebung (CDE) auszeichnet. Dies bedeutet, dass alle Projektbeteiligten, die relevanten Informationen aus dem Modell bzw. der Datenumgebung beziehen und somit den gleichen Informationsstand haben. Voraussetzung ist eine genaue Beschreibung der BIM-Umsetzung in den Ausschreibungs- und Vertragsunterlagen. Das virtuelle Bauen ermöglicht es Konflikte in der Planung frühzeitig durch die interdisziplinäre, modellbasierte und kooperative Arbeitsweise zu erkennen (z.B. mit Hilfe der Kollisionsprüfung) und zu beheben. Somit können teure Verzögerungen in der realen Ausführung vermieden werden. Dadurch kann die Planungs-, Termin- und Kostensicherheit erhöht und eine konsistente Datengrundlage für den Betrieb geschaffen werden.

3. BIM im Projekt des neuen Köhlbrandtunnel

Das Projekt Köhlbrandtunnel (KBT) ist das bisher größte BIM-Projekt der HPA und durch die Lage mitten im Hafengebiet hochgradig komplex. Gleichzeitig ist die Köhlbrandbrücke Teil der Hauptverkehrsader des Hafens und so wenig wie möglich zu beeinflussen. Damit die BIM-Methode das Projekt maximal unterstützen kann, wurde die Entscheidung getroffen, die Methode ab Projektstart anzuwenden. Daher ist es das Ziel im Projekt die Anwendungsfälle nach BIM4Infra2 zu pilotieren.

In diesem Pilotprojekt werden mit der BIM-Methode vorrangig zwei Ziele verfolgt: Zum einen ist es das Ziel, die konventionelle Projektbearbeitung über die beauftragten BIM-Leistungen zu unterstützen und die Vorteile der Digitalisierung und des kollaborativen Arbeitens in diesem Projekt zu nutzen. Zum anderen sollen die Weichen für eine sukzessive Implementierung der BIM-Methode gestellt werden. Um diese Ziele zu erreichen, wurden für die Planung Anwendungsfälle definiert, die in der Projektarbeit umgesetzt werden.

Diese Anwendungsfälle beschreiben die konkreten Aufgaben und Anforderungen, die in der Projektbearbeitung an das BIM-Modell gestellt werden. Für jede Leistungsphase gibt es BIM-Anwendungsfälle, welche projektspezifisch festgelegt und während des Projekts von den Beteiligten umzusetzen sind. Die einzelnen Anwendungsfälle werden folgend kurz mit ihrem Ziel, ihrer Umsetzung und einem Lessons Learned beschrieben.

AwF 01 Bestandserfassung

Ziel

In diesem Anwendungsfall sollen alle für das Projekt relevanten Bestandsinformationen in einem Koordinationsmodell des Bestandes zusammengeführt und in der CDE für die Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt werden. Dieses Koordinationsmodell des Bestandes soll die Funktion eines digitalen Inhaltsverzeichnisses im Projekt übernehmen. Dafür werden die einzelnen Modelle bzw. die sich in diesem Modell befindlichen Objekte mit den entsprechenden Bestandsdaten auf der CDE über Hyperlinks verknüpft.

Die Bestandsinformationen setzen sich dabei aus Daten unterschiedlichster Quellen und Formate zusammen. Das sind unter anderem Bestands- und Revisionspläne aus dem Archiv der HPA und Leitungsabfragen oder Luftbildauswertungen, welche als Grundlage für die Erstellung einzelner Modelle

dienen. Darüber hinaus wurden Modelle aus anderen Projekten der HPA, wie z.B. Bestandsmodelle der vorhandenen Köhlbrandbrücke (smartBRIDGE) oder Modelle einer Kaimauer (Hachmannkai) zur Verfügung gestellt und eingebunden.

Um einen möglichst reibungslosen Datenaustausch zu gewährleisten, sind die Modelle in herstellerneutralen Datenformaten zu übergeben.

Umsetzung

Bevor mit der Modellierung begonnen wurde, wurde im Rahmen von Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und eines BIM-Abwicklungsplans (BAP) das Vorgehen mit dem Auftragnehmer abgestimmt. Hierbei wurden Festlegungen zu Detaillierungsgraden (LOIN), Koordinatensystemen, Einheiten uvm. getroffen. Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen und auf Basis der zur Verfügung gestellten Bestandsinformationen hat der Auftragnehmer mit der Modellierung begonnen. Je nach Fachdisziplin kam dabei verschiedenste Autorensoftware zum Einsatz. Die Wahl der Autorensoftware stand dem Auftragnehmer dabei frei (OpenBIM).

Die erstellten Modelle wurden durch einen Qualitätssicherungsprozess hinsichtlich ihrer datentechnischen und fachlichen Qualität geprüft und den Projektbeteiligten auf der CDE zur Verfügung gestellt.



Abb 3: Koordinationsmodell des Bestandes / ©HPA

Lessons Learned

Es wurde das Koordinationsmodell des Bestandes für das Planungsgebiet geliefert, welches die von der HPA zur Verfügung gestellten als auch die neu erstellten Modelle des Bestandes enthält. Die nachmodellierten Bauwerke wiesen sogar eine deutlich größere Detailtiefe auf, als in den AIA gefordert wurde.

Aufgrund der hohen Dichte und Überlagerung von vielen Bestandsinformationen, kann das Koordinationsmodell des Bestandes für das Projekt viele Fragen beantworten und klar darstellen. Beispielsweise ist es möglich, alle Modelle und die abgefragten Leitungspläne anzuzeigen, um frühzeitig Überschneidungen der Planung mit den Bestandsleitungen zu erkennen.

Die Einbindung von Modellen aus anderen Projekten in das Koordinationsmodell des Bestandes hat problemlos funktioniert. Dabei entsteht der Eindruck, dass mittlerweile die Modellerstellung projektübergreifend so gleichförmig ist, dass der Austausch von Modellen in herstellerneutralen Formaten (z.B. IFC) zwischen verschiedenen Projekten immer besser wird und keine weiteren Transformationen nötig macht.

Zu erwähnen bleibt, dass die umfassende Bestandsmodellierung und der Aufwand der Prüfung dieser Modelle nicht unerheblich sind. Das Koordinationsmodell des Bestandes bietet dem gesamten

Projekt aber ein großes Maß an Sicherheit, da es einen klaren Gesamteindruck des Planungsgebietes vermittelt, der konventionell so nicht hergestellt werden kann. Gleichzeitig können die Informationen des Koordinationsmodells des Bestandes bei der Umsetzung weiterer Anwendungsfälle verwendet werden. Voraussetzung dafür ist, dass bei der Modellierung berücksichtigt wird, welche Informationen zukünftig benötigt werden.

AwF 02 - Variantenuntersuchung

Ziel

Für den neuen Tunnel sollen vom Auftragnehmer mehrere Varianten der Straßenführung und der benötigten Bauwerke zwischen den Endpunkten der Querung ausgearbeitet und in einem Koordinationsmodell vergleichbar dargestellt werden. Diese sollen die konventionelle Planung bei der Findung einer Vorzugsvariante und bei Abstimmungen mit Dritten unterstützen. Für den Variantenvergleich sollten die Themen Flächenverbrauch, Kosten (auf Grundlage einer Mengenermittlung) und die Anpassung des Baugrundmodells beachtet werden.

Mit Abschluss der Leistungsphase 2 ist vom Auftragnehmer ein Modell der Vorzugsvariante des Gesamtprojektes zu liefern, in welchem alle relevanten Objekte entsprechend der Leistungsphase detailliert darzustellen sind.

Umsetzung

Der Auftragnehmer hat den Variantenvergleich mit einer Koordinationssoftware erstellt. Die Basis der Umsetzung sind Anwendungen in der Software, die es erlauben, Funktionen zu automatisieren und mit eigenen Oberflächen (Formularen) ausführbar zu machen. Diese Formulare werden über einen Webservice gehostet und stehen allen Projektbeteiligten zur Verfügung.

Die Varianten des Projektes teilen sich in die drei Bereiche: Verkehrsknoten West, Verkehrsknoten Ost und die Haupttrasse. Zu jedem Bereich gibt es drei Varianten, welche in den Formularen ausgewählt werden können. Die Bestätigung der Auswahl blendet die jeweilige Variantenkombination einschließlich einer dazugehörigen Bewertungsmatrix ein. Auf diesem Weg kann jedem Projektbeteiligten der Variantenvergleich zugänglich gemacht werden.

Um die Funktionen der Koordinationssoftware für den Variantenvergleich nutzen zu können, wurden Lizenzen für die HPA bereitgestellt. Nach einer internen Schulung des Projektteams durch das BIM-Management der HPA, konnte die Software wie beschrieben genutzt werden.

Lessons Learned

Als Fazit kann festgehalten werden, dass das beschriebene Vorgehen eine gute Möglichkeit zur Umsetzung des Anwendungsfalls ist und bei konsequenter Umsetzung den Vergleich von Varianten stark vereinfachen kann, da Informationen in Bezug zueinander betrachtet werden können. Für den effektiven Einsatz dieses Anwendungsfalls muss die Umsetzung frühzeitig geplant werden und vor allem die Nutzung der Software bei den Projektbeteiligten durch Installation und Schulung sichergestellt sein.

Bei einem umfangreichen Projekt wie diesem, müssen die Lieferleistungen für die Umsetzung klar vorgegeben werden. Bei der Vielzahl von Bauwerken und der komplexen Verkehrsführung multipliziert sich der Aufwand für alle erforderlichen Varianten.

AwF 03 - Visualisierung

Ziel

Mit Hilfe von Visualisierungen sollen die umgebenden Verhältnisse des Projektes erkenntlich gemacht und so für Dritte ein einfacher Zugang zum Projekt und den damit verbundenen Maßnahmen ermöglicht werden.

Umsetzung

Die im Zuge des Projektes erstellten Bestands- und Planungsmodelle werden in eine für die Visualisierung spezialisierte Software importiert und bedarfsgerecht aufbereitet. Hier werden den Oberflächen der Objekte Texturen zugewiesen und unter anderem durch das Einfügen von Personen und Verkehrsmittel ein realistischer Eindruck der Planung gegeben. In der Software werden neben Bildern auch Videos erstellt. Die Entscheidung darüber, welche Punkte genau für eine Visualisierung aufbereitet werden erfolgt in Abstimmung zwischen HPA und Auftragnehmer.

Auch die Einbindung der Modelle in das Virtual Reality-Hafenmodell der HPA ist vorgesehen. Das Hafenmodell ist eine Eigenentwicklung der HPA, in welches die Modelle im IFC-Format importiert und so in der virtuellen Realität erlebt werden können.

Lessons Learned

In der frühen Phase des Projektes hat sich gezeigt, dass das Aufbereiten von Visualisierungen nicht erforderlich war. Die erzeugten Bestands- und Variantenmodelle konnten problemlos ohne weitere Aufbereitung für die Darstellung der Projektumgebung und zur Abstimmung mit Dritten genutzt werden.

AwF 10 - Kostenplanung

Ziel

Zur Plausibilisierung der konventionellen Kostenschätzung der Vorplanung und der konventionellen Kostenberechnung der Entwurfsplanung sollen die Modelle zur modellgestützten Mengenermittlung genutzt werden. An die modellierten Objekte sollen die Informationen entsprechend der Kostenstruktur hinterlegt und eine Verknüpfung zwischen Modell und der Kostenschätzung bzw. Kostenberechnung erstellt werden.

Umsetzung

Bei der Erstellung der Modelle werden die relevanten Mengen als Eigenschaft (Merkmal) an den Modellobjekten definiert. Diese Modelle werden in der Koordinationssoftware zusammengeführt und durch eine teilautomatisierte Mengenermittlung als Grundlage für die Kostenermittlung genutzt.

Die Ergebnisse werden der HPA in der Koordinationssoftware zur Verfügung gestellt. Dieses Vorgehen gewährleistet eine schnelle Ableitung der Mengen auf Bauwerks- und Objektebene. Anschließend werden die Objekte, welche Kosten erzeugen, mit diesen über eine Verknüpfung verbunden. Die zu berücksichtigenden Kosten werden entsprechend der AKVS strukturiert.

Lessons Learned

Für die Umsetzung dieses Anwendungsfalls sollte das Modell idealer Weise in alle relevanten Bauelemente unterteilt sein. Die händische Nacharbeitung der Mengenermittlung wird dadurch minimiert.

Es ist zu beachten, dass die Anpassung der Mengen auf die Vorgaben der Regelwerke (z.B. VOB/C) noch nicht automatisch erfolgt.

Die Verknüpfung der ermittelten Kosten mit den jeweiligen Elementen des Modells erhöht die Nachvollziehbarkeit der Kostengliederung immens und beschleunigt damit auch die Fertigstellung der Kostenermittlung.

AwF 12 - Terminplanung

Ziel

Mit diesem Anwendungsfall soll die konventionelle Terminplanung unterstützt werden, indem die geplanten Vorgänge bewertet, optimiert bzw. auf ihre Plausibilität geprüft werden. So ist es vorgesehen die Objekte in den Modellen mit den entsprechenden Vorgängen zu verknüpfen, um den Bauablauf darzustellen. Diese Vorgangsmodelle sind darüber hinaus für Projektbesprechungen und Abstimmung mit Dritten zu nutzen.

Umsetzung

Für die Umsetzung dieses Anwendungsfalles muss eine ausreichende Granularität der Modelle vorliegen. Diese muss kompatibel mit den relevanten Vorgängen der Terminplanung sein. Nur so wird eine effektive Entwicklung der Vorgangsmodelle ermöglicht. Die Vorgangsmodelle werden dann durch die Verknüpfung von Modellobjekten mit den entsprechenden Vorgängen der Terminplanung realisiert. Diese Verknüpfung erfolgt hierbei über Eigenschaften an den Modellobjekten.

Die Erstellung der Vorgangsmodelle erfolgt in einer Koordinationssoftware. Neben der Verknüpfung zwischen Modellobjekten und Vorgängen, werden auch je nach Vorgangsart unterschiedliche Darstellungen der verknüpften Modellobjekte verwendet. So werden in diesem Projekt die Modellobjekte bei Neubau, Abbruch oder Temporär in unterschiedlichen Farben dargestellt. Diese Darstellungsform erleichtert das Erkennen möglicher Konflikte in der Bauablaufplanung.

Lessons Learned

Das Ergebnis der Bauablaufsimulation wurde entsprechend der vertraglichen Vorgaben umgesetzt. Der hohe Detaillierungsgrad der Vorentwurfsmodelle hat allerdings bei einigen Projektbeteiligten eine zu hohe Erwartungshaltung an die Bauablaufsimulation geweckt. In frühen Leistungsphasen sind die Vorgänge im Terminplan noch relativ grob und können daher keine genauere Simulation liefern.

AwF 13 - Logistikplanung

Ziel

Die Ergebnisse der konventionellen Logistikplanung sollen in dem Koordinationsmodell dargestellt und so das Baulogistikkonzept für die weiteren Planungsphasen zusammengetragen werden. Auch dieser Anwendungsfall soll für die Plausibilitätsprüfung der konventionellen Planung genutzt werden.

Umsetzung

Aus der konventionellen Logistikplanung werden folgende Daten in das Koordinationsmodell eingebunden:

- Die für den Baubetrieb und die Baustelleneinrichtung relevanten Flächen (z.B. BE-Flächen)
- Verkehrswege und Korridore zur Anbindung der Baustellen und Grundstücke
- Bestehende Restriktionen für die Bauabläufe und Logistik u.a. in Bezug auf Lärm, Schmutz und Schall durch die Einbindung von Flächen und Korridoren
- Abhängigkeiten zu den zeitlich ablaufenden Baustellen in der Umgebung
- Verkehrsbeziehungen für temporäre Bauphasen der Verkehrsströme
- Räume für das Rangieren von geometrisch kritischen Baugeräten

Die Modellobjekte (2D und/oder 3D) der eingebundenen Daten werden, wie im Anwendungsfall 12 mit der Bauablaufplanung verknüpft. Hierdurch wird mit geringem Aufwand eine Prüfung der konventionellen Planung auf Basis des Logistikmodelles möglich.

Lessons Learned

Die Inhalte der Logistikplanung in LPH 2 waren ausschließlich 2D-Bauphasenpläne (DWG). Die Flächenbelegung und temporäre Verkehrsführung konnte so zu jedem Datum des Terminplans angezeigt werden. Aufgrund der ausschließlichen Einbindung von 2D-Logistikflächen, konnte im Koordinationsmodell ausschließlich die Draufsicht verwendet werden. Der Wechsel in perspektivische Blickrichtungen hat optischen Verschiebungen geführt.

Die zukünftige 3D-Umsetzung der Logistikplanung beinhaltet die Flächenplanung und temporäre Verkehrsführung direkt am Geländemodell (DGM) und die 3D-Planung der Baustelleneinrichtung und Lagerungsflächen. Dadurch können alle Abhängigkeiten zu allen Projekten und zum Bestand im Planungsgebiet gleichzeitig im Koordinationsmodell betrachtet werden.

4. Fazit

Im Projekt der KBT kann festgehalten werden, dass bereits zum jetzigen Zeitpunkt die Verwendung der BIM-Methode dazu führt, dass alle Beteiligten einen besseren Zugang zum Projekt bekommen und zu jedem Zeitpunkt über den aktuellen Informationsstand der Planung verfügen. Der Aufbau eines dezidierten Bestandsmodells hilft im Projekt, Entscheidungen zu treffen und Vorhaben abzuwägen, gleichzeitig können langfristig Bestandsinformationen besser zur Verfügung gestellt werden und auch bei zukünftigen Maßnahmen im und um den Köhlbrand verwendet werden. Die Umsetzung von BIM-Anwendungsfällen unterstützt die Entscheidungsfindung und kann die jeweiligen Ergebnisse besser und schneller kommunizieren.

Vom Großteil des Teams wird der Einsatz der Methode schon heute als positiv bewertet, wenn auch festgehalten werden muss, dass es auf Grund der fehlenden Erfahrung durchaus zu Problemen gekommen ist und nicht alles auf Knopfdruck funktioniert. Nicht zuletzt wird der Einsatz der BIM-Methode durch die fehlende Standardisierung erschwert.

5. Ausblick

Zum BIM-Projektstart 2019 war der BIM-Masterplan noch nicht veröffentlicht. Daher wurde die Beschreibung der Anwendungsfälle auf der Grundlage von BIM4Infra² erstellt. Mit Veröffentlichung des Masterplan BIM Bundesfernstraßen³ im September 2021 wird dieses Dokument für alle weiteren Beschreibungen verwendet.

Mit Abschluss der Planung ist es vorgesehen, die Ausführung mit der BIM-Methode zu unterstützen und Anwendungsfälle für den Bau des Bohrtunnels zu pilotieren. Parallel dazu wird untersucht, wie die Modelle der bestehenden Köhlbrandbrücke genutzt werden können, um die Restlebensdauer der Brücke zu optimieren. Langfristig werden die Erfahrungen aus dem Projekt der neuen Köhlbrandquerung in die Standardisierung von BIM bei der HPA und der Freien Hansestadt Hamburg einfließen und einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die BIM-Methode mehr und mehr als gängige Ingenieursmethode zu etablieren.

Quellenverzeichnis

- 1) **BMVI.2015**: Reformkommission Bau von Großprojekte. Berlin Bundesrepublik Deutschland, 2015.
- 2) **BIM4Infra2020.2019**: Handreichung 6 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle
URL: https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf
(abgerufen am 04.05.2021)
- 3) **Masterplan BIM Bundesfernstraßen.2021**: Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betriebens im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM) URL: Masterplan BIM Bundesfernstraßen V 1.0 (bmvi.de)



Foto unten Mitte: © Hamburg Port Authority, F. Steffens

Ingenieurkompetenz. Made in Germany.

- Verkehrswasser- und Hafenanbau
- Hochwasser- und Küstenschutz
- Stauanlagen
- Wasserkraftanlagen
- Maschinen- und Stahlwasserbau
- Fördertechnik und Kranbau
- Brückenbau
- Infrastruktur
- Umwelt

Tractebel Hydroprojekt GmbH
 Rießerstraße 18 · 99427 Weimar
 hydroprojekt-DE@tractebel.engie.com

Bad Vilbel · Berlin · Dresden · Freiburg i. Br. ·
 Hamburg · Magdeburg · München · Weimar



WWW.HYDROPROJEKT.DE

With the trusted expertise of  LAHMEYER HYDROPROJEKT

Planung der Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim – Anwendung der BIM-Methode

Dr.-Ing. Steffen Kinzler, M.Sc., Jakob Herbst
Dipl.-Ing. Norbert Carstensen, Dr.-Ing. Ulrich Jäppelt, WTM Engineers GmbH, Hamburg

Die Grundinstandsetzung und Verlängerung der am Neckar gelegenen Schleuse Pleidelsheim wurde im Rahmen der Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ als Erfahrungsprojekt für die Anwendung der BIM-Methodik bestimmt. Im vorliegenden Beitrag erfolgt eine kurze Beschreibung der geplanten Maßnahme und die Darstellung der Anwendung der BIM-Methodik im Zuge der Entwurfs- und Genehmigungsplanung. Ausgehend von der methodischen Anwendung werden dabei die projektspezifischen Randbedingungen dargestellt und die Umsetzung der auftraggeberseitig festgelegten Anwendungsfälle beschrieben.

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat das Building Information Modeling, kurz BIM, in Deutschland als wesentliches Element bei der Digitalisierung von Planen und Bauen zunehmend an Bedeutung gewonnen. In der Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“ [U1] wird u.a. für den Bereich Wasserstraße die BIM-Methodik realisiert, die die flächendeckende Nutzung von BIM bei zukünftigen Infrastrukturprojekten des Bundes vorbereiten. Die Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim ist in diesem Rahmen zum Erfahrungsprojekt für die Anwendung der BIM-Methodik des Wasserstraßen- Neubauamtes Heidelberg bestimmt worden.

2 Beschreibung der geplanten Maßnahme

In Pleidelsheim am Neckar ist zur Sicherstellung der Schiffbarkeit und für die Gewinnung elektrischer Energie eine Staustufe vorhanden. Die Staustufe besteht aus einer Wehranlage im Altarm, einer Schleusenanlage im Pleidelsheimer Seitenkanal und einem Kraftwerk im Kraftwerkskanal. Die baulichen Anlagen der Staustufe und der Verlauf des Neckar sind in Abbildung 1 dargestellt.

Bei der im Jahr 1955 errichteten Schleusenanlage handelt es sich um eine Doppelkammerschleuse in Massivbauweise. Die nutzbare Kammerlänge beträgt 110,00 m bei einer Kammerbreite von 12,00 m. Durch die Schleuse wird eine Hubhöhe von 8,05 m überwunden.

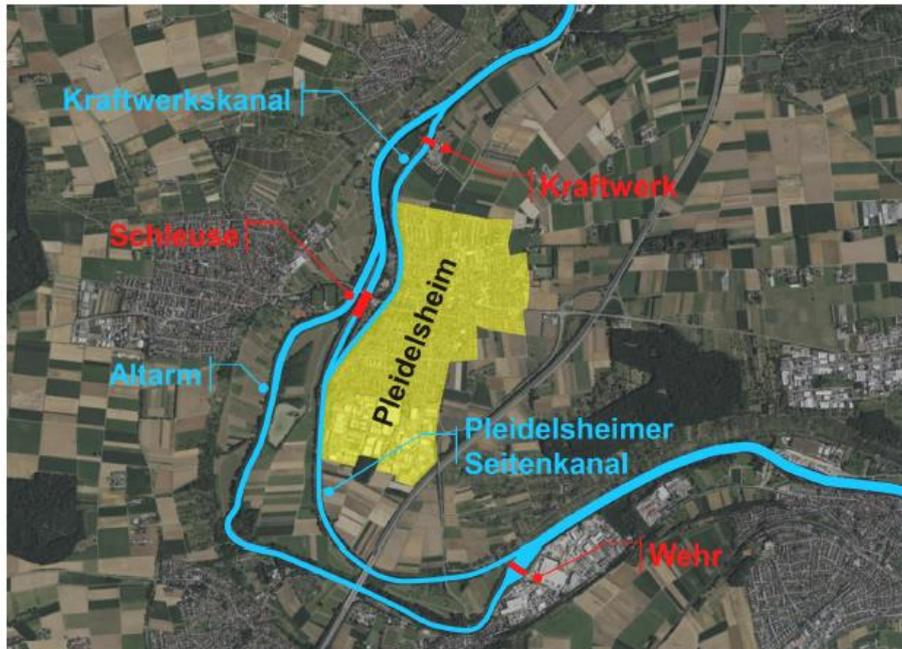


Abb 1: Verlauf des Neckar (blau) und bauliche Anlagen der Staustufe Pleidelsheim (rot), Luftbild: bing.com

Für die Umsetzung des gemäß Ausbaugesetz vom 23.12.2016 vorgesehenen Ausbaus der Neckarschleusen für die Befahrung mit übergroßen Motorschiffen (üGMS) ist die Verlängerung einer Schleusenkammer geplant. Diese findet im Zuge der Grundinstandsetzung der linken Schleusenkammer statt. Die zugehörigen Unterhaltungsmaßnahmen umfassen die Betoninstandsetzung der linken Schleusenkammer, die Erneuerung der Schleusenausrüstung sowie die Errichtung neuer Schleusenhäupter einschließlich neuer Tore. Die Verlängerung in Richtung Oberwasser umfasst den Rückbau des Oberhauptes zu einem Kammerblock und den Neubau eines Verlängerungsstückes. Im Zuge der Verlängerung werden auch die Vorhäfen mit der zugehörigen Infrastruktur angepasst und der Neubau des Technikgebäudes realisiert. Die geplanten Maßnahmen sind in Abbildung 2 dargestellt.

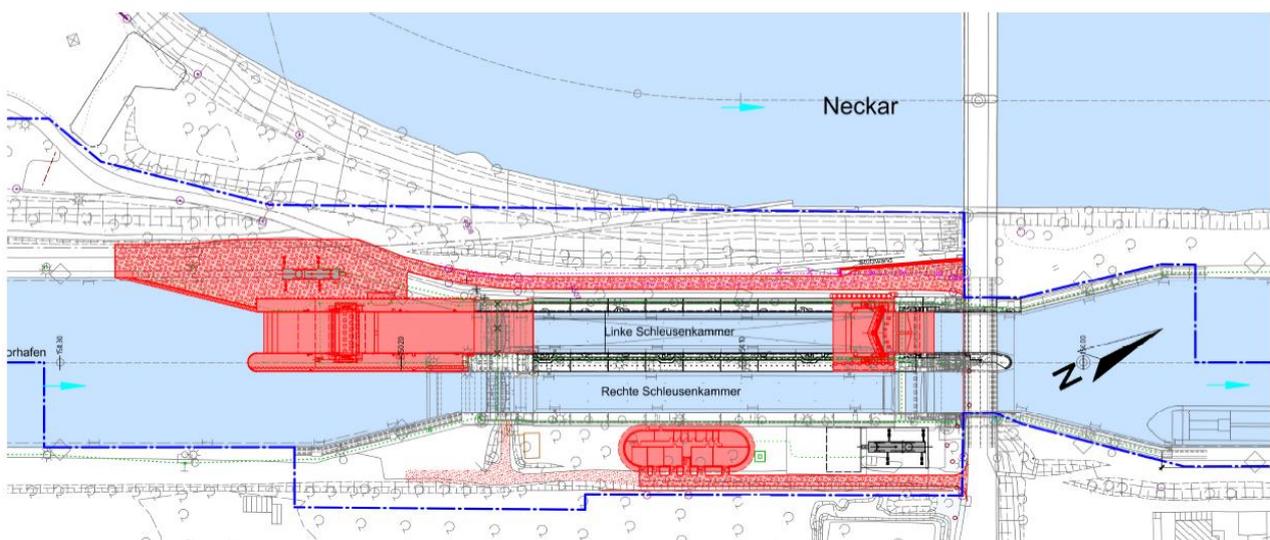


Abb 2: Schiffsschleusenanlage Pleidelsheim, Verlängerung linke Schleusenkammer, Lageplan Endzustand

Die Objektplanung Ingenieurbauwerke sowie die Fachplanung Technische Ausrüstung und Stahlwasserbau (Untertor) erfolgen unter Anwendung der BIM-Methodik. Die Planungsleistungen werden durch die Planungsgemeinschaft Neckarschleusen bestehend aus KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH, WTM Engineers GmbH und IRS Stahlwasserbau Consulting AG erbracht.

3 Building Information Modeling

Der Begriff Building Information Modeling (kurz: BIM) beschreibt eine softwaregestützte Arbeitsmethode für die vernetzte Planung, den Bau und die Bewirtschaftung von Bauwerken. Kern der BIM-Methodik ist die Erstellung digitaler dreidimensionaler Bauwerksmodelle, in denen alle für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Informationen hinterlegt sind. Mit der kooperativen Arbeitsmethode sind im Idealfall alle „[...] relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht [...]“, vgl. [U1].

Voraussetzung für die Anwendung der BIM-Methodik sind neben dem standardisierten Datenaustausch eindeutige vertragliche Regelungen, die kooperative Zusammenarbeit aller am Planungs- und Bauprozess Beteiligten sowie hinreichende Kompetenz der Planer und Bauausführenden wie auch der Auftraggeber im Hinblick auf die Anwendung der digitalen Werkzeuge. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Wertschöpfung von Bauwerken im gesamten Lebenszyklus durch Minimierung von Planungsfehlern und -risiken, Optimierung von Bauabläufen und Reduzierung von Betriebs- und Unterhaltungskosten nachhaltig zu erhöhen.

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ist als Ressort des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr verantwortlich für Betrieb, Erhalt und Ausbau der Bundeswasserstraßen und in dieser Funktion öffentlicher Auftraggeber und Vorhabensträger einer Vielzahl von Planungs- und Bauprojekten. Die Anforderungen an die Anwendung der BIM-Methodik werden in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) formuliert und sind wesentlich durch die BIM-Anwendungsfälle bestimmt. Durch die Anwendungsfälle wird festgelegt, auf welche Weise und zu welchem Zweck BIM-Modelle im Projekt genutzt werden sollen. Die ergebnisbezogene Formulierung der Anwendungsfälle in den AIA unterstützt die Identifikation der geforderten Leistung und definiert die Kernprozesse der Projektrealisierung. Diese können anschließend auf das modellbasierte Arbeiten übertragen werden. Eine Übersicht über die Anwendungsfälle der BIM-Methodik sowie deren Zuordnung in die unterschiedlichen Planungsphasen der HOAI zeigt Abbildung 3.

Nr	Anwendungsfälle	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bestandserfassung										
AWF 1	Bestandserfassung									
Planung										
AWF 2	Planungsvariantenuntersuchung									
AWF 3	Visualisierungen									
AWF 4	Bemessung und Nachweisführung									
AWF 5	Koordination der Fachgewerke									
AWF 6	Fortschrittkontrolle der Planung									
AWF 7	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen									
AWF 8	Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung									
AWF 10	Kostenschätzung und Kostenberechnung									
Genehmigung										
AWF 9	Planungsfreigabe									
Vergabe										
AWF 11	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe									
Ausführungsplanung und Ausführung										
AWF 12	Terminplanung der Ausführung									
AWF 13	Logistikplanung									
AWF 14	Erstellung von Ausführungsplänen									
AWF 15	Baufortschrittkontrolle									
AWF 16	Änderungsmanagement									
AWF 17	Abrechnung von Bauleistungen									
AWF 18	Mängelmanagement									
AWF 19	Bauwerksdokumentation									

Abb 3: Übersicht BIM Anwendungsfälle bei der Planung von Bundeswasserstraßen mit Orientierung an den Leistungsphasen gemäß HOAI, Quelle: [U2]

4 Anwendung der BIM-Methodik im Erfahrungsprojekt

4.1 Randbedingungen

Die Projektbearbeitung unter Anwendung der BIM-Methodik wurde für die Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim nach Abschluss der Vorplanung in die laufende Projektbearbeitung implementiert. Umfang, Inhalt, Umsetzung und Qualitätssicherung der mittels der BIM-Methodik zu erbringenden Planungsleistungen werden in den AIA festgelegt. Im Erfahrungsprojekt erfolgen über die AIA folgende Festlegungen für die Bearbeitung:

- umzusetzende BIM-Anwendungsfälle;
- zur Verfügung gestellte digitale Grundlagen;
- zu erstellende digitale Liefergegenstände;
- Organisation und Rollen des BIM-Fachpersonals;
- Zusammenarbeit der Projektbeteiligten;
- Lieferzeitpunkte der digitalen Liefergegenstände;
- Maßnahmen der Qualitätssicherung;

- Festlegungen zu Modellstruktur und Modellinhalte;
- einzusetzende Technologien sowie
- Projektaufsatz und Testfälle.

Die Umsetzung der technischen und organisatorischen AIA auf Seiten des Auftragnehmers wird im BIM Abwicklungsplan (BAP) festgehalten.

Zentraler Punkt des BAP ist die Qualitätssicherung der Liefergegenstände. Hierbei ist zwischen der technischen und der inhaltlichen Qualitätssicherung zu unterscheiden. Während erste vollständig und detailliert innerhalb des BAP geregelt wird, ist die inhaltliche Richtigkeit auch bei Anwendung der BIM-Methodik durch die beteiligten Planer und Baufirmen sicherzustellen.

Die technische Qualitätssicherung erfolgt für die Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim bei der Erstellung und Überarbeitung der Fachmodelle und deren Zusammenführung im Koordinationsmodell unter Abarbeitung unterschiedlicher Prüfprozesse und der Dokumentation der Prüfergebnisse. Der Kollaborationsprozess innerhalb der Planungsgemeinschaft ist in Abbildung 4 dargestellt.

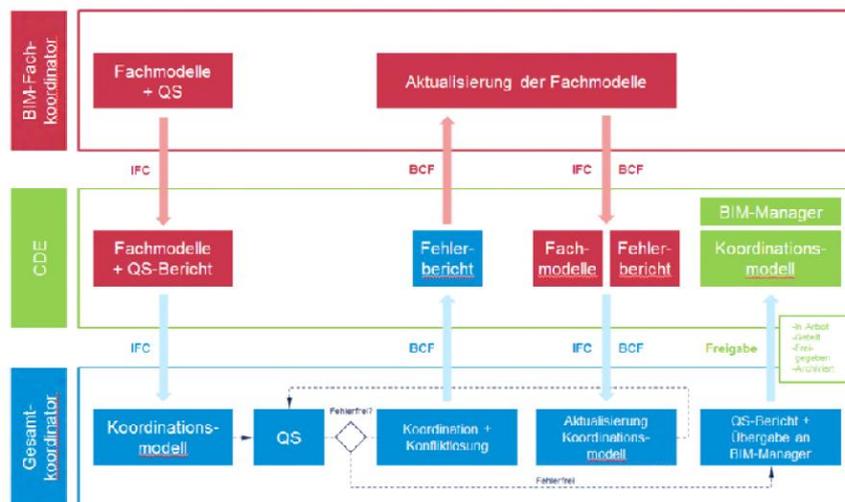


Abb 4: Kollaborationsprozess im Zuge der Bearbeitung

Die inhaltliche Umsetzung der BIM-Methodik im Zuge der Planung der Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim für die auftraggeberseitig definierten Anwendungsfälle ist nachfolgend dargestellt.

4.2 Umsetzung der BIM-Anwendungsfälle

4.2.1 Grundlagen

Im Zuge der Planung werden verschiedene Fachmodelle auf Grundlage der Ergebnisse der Objekt- und Tragwerksplanung erstellt und planungsbegleitend fortgeschrieben. Die Fachmodelle werden nach Gewerken und Status wie folgt strukturiert:

- Bestand
- Umgebung
- Abbruch (Massivbau und Schleusenausrüstung)
- Baugrube
- Erdbau und Wasserhaltung
- Massivbau und Schleusenausrüstung
- Stahlwasserbau (Schleusen- und Revisionsverschlüsse)
- Technische Ausrüstung

Die Koordination der Fachmodelle untereinander erfolgt gemäß BAP innerhalb der Planungsgemeinschaft in einem Koordinationsmodell, s. Abbildung 5.

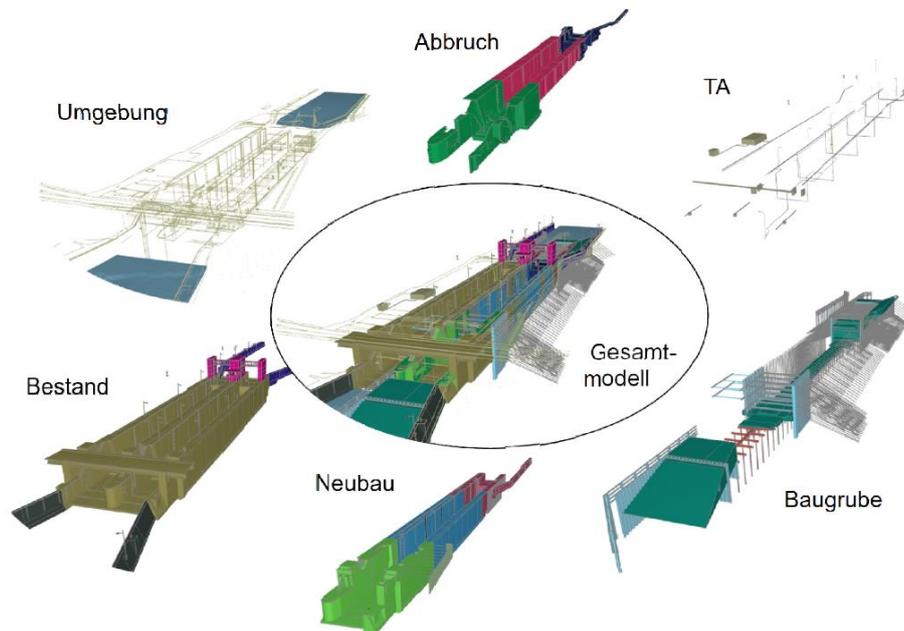


Abb 5: Koordinationsmodell (Gesamtmodell) und enthaltene Teilmodelle

Im Zuge der Modellierung werden jedem Bauteil Attribute zugewiesen. Die Attributierung erfolgt dergestalt, dass anhand der hinterlegten Attribute die erforderlichen Anwendungsfälle erfüllt werden. Wesentliche Vorarbeit für die Modellierung ist daher die projektspezifische Ausarbeitung der Anwendungsfälle und die darauf basierende Festlegung der erforderlichen Attribute.

4.2.2 Anwendungsfälle

Für die Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Pleidelsheim kommen die Anwendungsfälle AWF 1, 3, 5, 5, 8, 10 und 12 (vgl. Abbildung 3) zur Anwendung. Nachfolgend werden die Ergebnisse sowie Erfahrung aus der Umsetzung dargestellt.

AwF 1: Bestandserfassung

Durch den Auftraggeber werden zu Beginn der BIM-basierten Projektabwicklung Bestandsunterlagen zur Verfügung gestellt. Diese beinhalten neben den Bestandsplänen aktuelle Vermessungs- bzw. Peil- daten oder auch Bestandsfotos. Auf dieser Grundlage wurde ein dreidimensionales Bestandsmodell erstellt.

Ziel der Bestandserfassung ist die Überführung der wesentlichen Aspekte des Bestandes in ein digitales dreidimensionales Modell und im Ergebnis die Bereitstellung der Grundlage für die Durchführung der nachfolgenden Anwendungsfälle.

Das erstellte Bestandsmodell umfasst beide Schleusenammern einschließlich den Hubtürmen am Oberhaupt mit Schleusendienstgebäude auf der Mittelmole und den Maschinenhäusern am Unterhaupt, dem unteren und oberen Vorhafen sowie der Gewässersohle und ist in Abbildung 6 dargestellt.

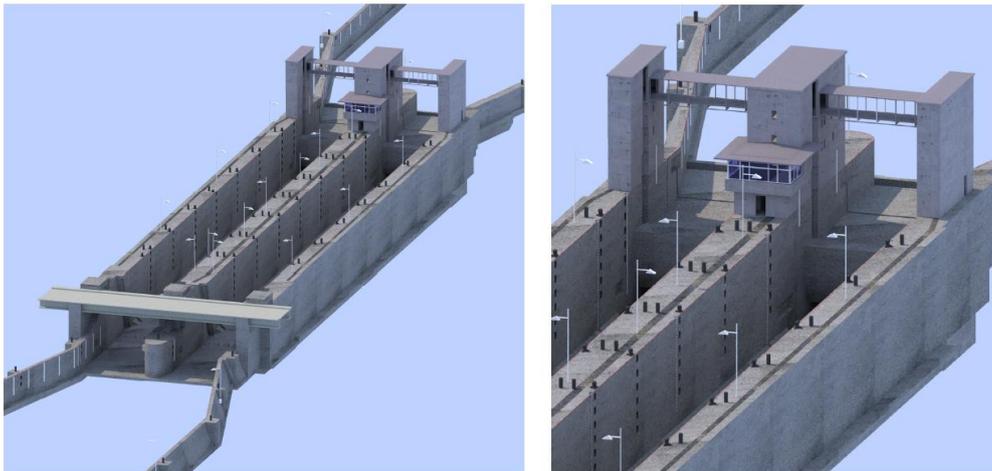


Abb 6: Bestandsmodell, links: Schleuse und Vorhäfen, rechts: Ausschnitt Oberhaupt

AwF 3: Visualisierung

Durch bedarfsgerechte Visualisierungen der BIM-Modelle können unterstützende Darstellungen abgeleitet werden.

Im Erfahrungsprojekt wurden Visualisierungen u.a. dafür genutzt, gegenseitiges Verständnis der zum Teil komplexen Eingriffe zwischen allen Planungsbeteiligten zu erreichen. Bewährt haben sich neben statischen Darstellungen insbesondere dreidimensionale (Teil-)Modelle in plattformunabhängigen und portablen Formaten. Durch die Möglichkeit unterschiedlicher Perspektiven, die einfache Bedienbarkeit und den niedrigschwelligen Zugang konnte zwischen allen Beteiligten ein verbessertes Projektverständnis erzielt werden.

Animierte Visualisierungen wie z.B. für die vereinfachte Darstellung aufeinanderfolgender Prozesse im geplanten Bauablauf sind vorgesehen.

AwF 5: Koordination der Fachgewerke

Die Koordination der Fachgewerke erfolgt durch das regelmäßige Zusammenführen der Fachmodelle in einem Koordinationsmodell und die anschließende Qualitätssicherung durch den Gesamtkoordinator.

Die Prüfung der Fachmodelle beinhaltet die Prüfung der Vorgaben zu Lage und Ausrichtung, der ID-Konformität, der Geometrie, der Modellstruktur, der Namenskonventionen, der Attribute sowie möglicher Kollisionen innerhalb des jeweiligen Fachmodells. Die Prüfung des Koordinationsmodells

umfasst darauf aufbauend die Kollisionsprüfung zwischen den unterschiedlichen Fachmodellen u.a. auch unter Berücksichtigung des geplanten Bauablaufs.

Die 3D-Kollisionsprüfung erfolgt dabei nach einer Kollisionsmatrix. In dieser wird festgelegt, welche Fachmodelle bzw. Teilmodelle gegeneinander auf Kollision zu prüfen sind. So erfolgt beispielsweise die Prüfung der technischen Ausrüstung mit dem Massivbau, wohingegen die Kollisionsprüfung der technischen Ausrüstung mit dem Erdbau nicht vorgesehen ist. Für die Kollisionsprüfung hat sich die Definition von Toleranzbereichen bewährt um auch Herstelltoleranzen angemessen zu berücksichtigen. Zudem erfolgt die Unterscheidung zwischen zulässigen, weichen und harten Konflikten nach dem folgenden Schema:

- Zulässige Konflikte: Durchdringung von nicht mehr in Nutzung befindlichen Bestandsbauwerken
- Weiche Konflikte: Bauteilanschlüsse, die durch den gewählten Detaillierungsgrad nicht abgebildet sind
- Harte Konflikte: Überschneidungen von Bauteilen

Bei Kollisionen der unterschiedlichen Fachmodelle erfolgt der Austausch im BIM Collaboration Format (BCF) für eine vertiefte Analyse durch die zuständigen Fachplaner und der anschließenden Auflösung der Kollision.

AwF 7: Planableitung

Die Planableitung umfasst die Ableitung relevanter Teile der Entwurfs- und Genehmigungspläne aus dem BIM-Modell entsprechend den Richtlinien bzw. Projektvorgaben. Im Idealfall kann dadurch eine erhöhte Qualität der Planunterlagen sowie eine schnellere Plananpassung bei Planungsänderungen erreicht werden.

Die Planableitung im Erfahrungsprojekt erfolgt durch Erstellung von Projektionen des 3DModells, die anschließend in einer CAD-Software der Plandarstellung hinterlegt werden. In der Plandarstellung werden im Anschluss 2D-Informationen wie Strichstärken, Maßketten, Beschriftungen etc. ergänzt. Das Ergänzen der 2D-Informationen und die Einhaltung der Projektvorgaben (RiDaLi) ist mit hohem Aufwand verbunden und nur eingeschränkt repetitiv möglich. Abbildung 7 zeigt beispielhaft eine Projektion aus dem Modell und die daraus abgeleitete Plandarstellung.

Die vereinfachte Planableitung zur Koordination der Fachgewerke (vgl. AwF 5) oder zur Abstimmung mit dem Auftraggeber mittels vorgefertigter Klärungsblätter ist allerdings mit geringem Aufwand umsetzbar.

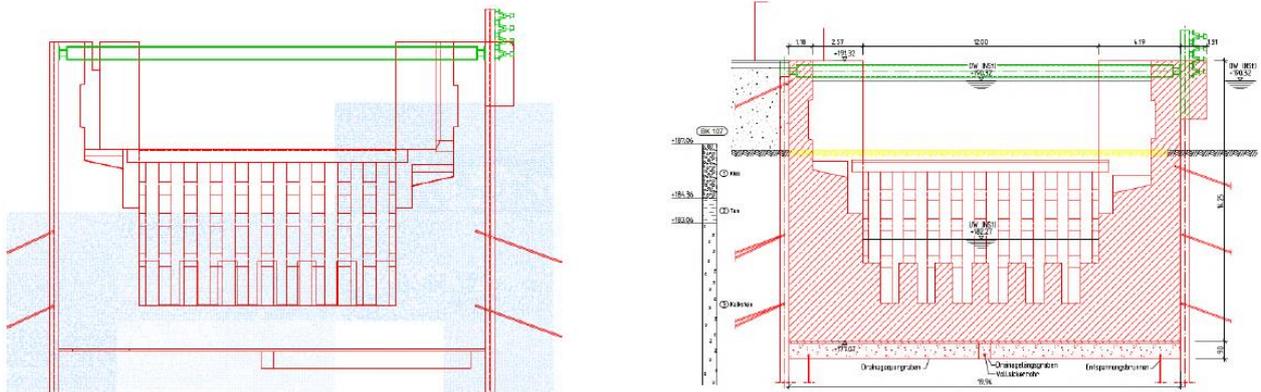


Abb 7: Planableitung aus dem Modell (links) und finaler Plan (rechts)

AwF 8: Arbeits- und Gesundheitsschutz

Durch die Darstellung sicherheitsrelevanter Aspekte anhand visueller Kontrolle und ggf. die zu einem späteren Zeitpunkt visuell unterstützte Einweisung auf Grundlage des BIM Modells kann eine Minderung von Prozess- und Gesundheitsrisiken erreicht werden.

So werden anhand einer Kollisionsprüfung unter Berücksichtigung von Abstandstoleranzen z.B. Fluchtwegbreiten, Absturzkanten, Zugänglichkeiten von Bauteilen und Arbeitsraumbreiten betrachtet, um eventuelle Unzulänglichkeiten und Gefährdungen zu erkennen. Wesentliche sicherheitsrelevante Aspekte (z.B. Arbeitsräume) werden im Modell dargestellt.

AwF 10: Kostenberechnung

Die Ermittlung strukturierter und bauteilbezogener Mengen aus dem BIM-Modell für die Kostenberechnung erfolgt nach Kostengliederungen gemäß VV-WSV 2107 (I-Struktur und PSP-Nummern).

Die modellbasierte Mengenermittlung als Grundlage der Kostenberechnung E-AU erfolgte durch Überführung des Modells in die Koordinationsoftware. Aus dieser werden auf Grundlage der Attributierung positionsbezogene Mengen ermittelt. Die Mengenermittlung steht transparent und nachvollziehbar im CPA-Format zur Verfügung.

Der Detaillierungsgrad des Modells und die gewählte Attributierung waren jedoch nicht immer ausreichend, um die Mengen ganzheitlich aus dem Modell zu ermitteln. Die finale Kostenberechnung E-AU wurde daher mit konventionellen Berechnungen einzelner Mengen ergänzt, welche aber wiederum über vorhandene Schnittstellen mit den aus dem Modell ermittelten Mengen verknüpft wurden.

AwF 11: Terminplanung

Die Terminplanung unter Anwendung der BIM-Methodik erfolgt durch Verknüpfung von Vorgängen der Terminplanung mit den zugehörigen Modellelementen. Im Ergebnis können die gewählten Bauabläufe dargestellt und überprüft werden. Die Umsetzung der BIM-basierten Terminplanung erfolgt auf der Grundlage von Bauphasenmodellen. Diese beinhalten alle für die jeweilige Bauphase relevanten Bauteile des Bestandes, des Neubaus und ggf. vorhandener temporärer Bauteile. Die Bauphasenmodelle werden hinsichtlich der geometrischen Kollisionen und Zugänglichkeiten geprüft und mittels Verknüpfung mit dem Projektterminplan in einer Bauablaufsimulation dargestellt.

Analog zur Mengenermittlung ist auch bei der Terminplanung der Detaillierungsgrad des Modells maßgebend in welchem Ausmaß der Bauablauf abgebildet wird. Im Modell nicht abgebildete Bauteile und Prozesse werden in der Terminplanung unter Anwendung der BIM-Methodik nicht erfasst und sind händisch in der Terminplanung zu berücksichtigen.

5 Fazit und Ausblick

Im Erfahrungsprojekt Grundinstandsetzung und Verlängerung Schleuse Pleidelsheim erfolgte die Entwurfs- und Genehmigungsplanung durch die verantwortliche Planungsgemeinschaft unter Anwendung der BIM-Methodik. Dafür wurden unterschiedliche Fachmodelle erstellt, auf deren Grundlage digitale Liefergegenstände bezogen auf die auftraggeberseitig definierten Anwendungsfälle erarbeitet wurden.

Mit der praktischen und projektbezogenen Anwendung der BIM-Methodik im Bereich Wasserstraße wurde insbesondere auf Auftraggeberseite Neuland beschritten. Dadurch bedingt weisen die angewandten Methoden und Prozesse Optimierungspotentiale hinsichtlich des Aufwands und Nutzens auf. Gleiches gilt für die für die kollaborative Arbeitsmethodik erforderlichen Kompetenzen und den damit einhergehenden Kulturwandel im Planungsprozess auf Seiten aller Beteiligten.

Dies verdeutlicht, dass die Anwendung von BIM als Arbeitsmethode in konkreten Projekten unerlässlich ist, um das theoretische Innovationspotential der BIM-Methodik auf praktische Umsetzbarkeit zu prüfen, Prozesse zu verbessern und im Ergebnis ein gemeinsames Verständnis für die Etablierung der modellgestützten Planung unter allen Beteiligten zu schaffen.

6 Verwendete Unterlagen

[U1] Stufenplan Digitales Planen und Bauen, Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur.

[U2] Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle, BIM4INFRA2020, Teil 6, Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur

Nachhaltigkeit im Kontext der Jungen HTG

Junge HTG

Wenn wir heute neue Bauwerke planen und bauen, liegen in der Regel die Funktion, die Nutzungsdauer und die (Herstellungs-)Kosten im Fokus. Auswirkungen auf die Umwelt werden oft gar nicht oder erst im fortgeschrittenen Planungsprozess erfasst und – soweit erforderlich – lediglich kompensiert. Dabei wäre es ein Leichtes, diese Baumaßnahmen schon bei der Bedarfsklärung auf breitere Füße zu stellen und die Maßnahmen z. B. unter Berücksichtigung der Erfüllung der UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung neu zu bewerten. Es liegt in der Verantwortung der Baubranche, sich ihrer Rolle bei der Einhaltung der Nachhaltigkeitsziele bewusst zu sein und dementsprechend zu handeln.

Aus dem Bedürfnis, das eigene berufliche Umfeld in eine nachhaltig umweltfreundliche Richtung zu bewegen, ist in der Jungen HTG der „Thinktank Sustainability“ (TTS) entstanden. Dieser hat die Vision formuliert, die Akzeptanz und ein Rollenverständnis für nachhaltiges Handeln in der HTG zu fördern sowie das Verantwortungsbewusstsein jedes einzelnen Mitglieds zu wecken. Der Weg dahin soll mit kurz-, mittel- und langfristigen Zielen skizziert werden. Ausgehend von den Erwartungen der Mitglieder soll so ein Entwicklungsprozess gestartet werden, an dessen Ende ein gemeinsames Verständnis und ein Handlungsrahmen für einen nachhaltigen Wasserbau steht.

Im Block der Jungen HTG wollen wir uns zusammen mit dem Publikum diesem Verständnis auf einem modernen Weg nähern. Unterstützt durch eine Informationskampagne wollen wir erste Impulse für einen respektvollen Umgang mit unserem Lebensraum setzen und einen Anstoß für nachhaltiges Handeln im Rahmen der HTG geben. Dazu gehört auch ein erstmals von der HTG verliehener Nachhaltigkeitspreis (Wanderpokal). Die erste Verleihung erfolgt im Rahmen eines Nachhaltigkeits-Quiz. Die Kriterien für zukünftige Verleihungen werden zum nächsten Kongress bekanntgegeben.