Projekt MicroPorts – partnerspezifischer Schlussbericht BIBA

MicroPorts – Potentialanalyse eines multimodalen Umschlagsystems
für den direkten oder indirekten Warenumschlag
zwischen einer Binnenwasserstraße und
mindestens einem weiteren Gütertransportsystem

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Datum: 12.12.2024

Förderkennzeichen: 19 H 22001 A

ALLGEMEINE INFORMATIONEN	
Zuwendungsempfänger	BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH Hochschulring 20 28359 Bremen
Förderkennzeichen	19 H 22001 A
Projektleiter*innen	Susanne Schukraft (BIBA)
Laufzeit des Vorhabens	01.07.2022 - 30.06.2024

Inhaltsverzeichnis

I Projektdarstellung und allgemeiner Projektverlauf 1

I.1 Aufgabenstellung 1
I.2 Voraussetzungen des Vorhabens 1
I.3 Planung und zeitlicher Verlauf 2
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 3

I.4.1 Genutzte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte 3
I.4.2 Verwendete Fachliteratur sowie genutzte Informations- und Dokumentationsdienste 3

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 5

II Eingehende Darstellung 5

II.1 Projektergebnisse 5

II.1.1 Arbeitspaket 1: Ist-Aufnahme und Anforderungsanalyse 5
II.1.2 Arbeitspaket 2: Konzeption und Systemarchitektur 12
II.1.3 Arbeitspaket 3: System-Modellierung und –Simulation 22
II.1.4 Arbeitspaket 4: Betriebsmodell, Wirtschaftlichkeits- und Umwelt- wirkungsanalyse 28
II.1.5 Arbeitspaket 5: Demonstrator, Öffentlichkeitsarbeit und Projektmanagement 32

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 35
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 36
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit 37

II.4.1 Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte 37
II.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende 37
II.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende 37
II.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 37

II.5 Entwicklungen anderer Stellen während der Projektlaufzeit 38
II.6 Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit 38

III Literaturverzeichnis 40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitplan und Meilensteine 2

Abbildung 2: durch NWL bediente Binnenschiffrouten 6

Abbildung 3: Ergebnis einer beispielhaften OSM-Abfrage: Industrieflächen im 5km-Umfeld der Straßenbrücke in Hoya 8

Abbildung 4: Ausgewählte Standorte 9

Abbildung 5: innerbetriebliche Prozesse im Hafen 9

Abbildung 6: Foto vom Standort Hoya (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts) 14

Abbildung 7: Foto vom Standort Drakenburg (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts) 15

Abbildung 8: Foto vom Standort Nienburg (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts) 15

Abbildung 9: Mögliche statische Systeme für Spundwände 16

Abbildung 10: Statisches System Schleusenkammer 18

Abbildung 11: Statisches System Mehrfeldträger, Beispielquerschnitt Stahlverbundbrücke, Baustellenbild Stahlverbundbrücke 19

Abbildung 12: Oberfläche des Simulationsmodells mit Umschlagspunkten und Kundenstandorten 23

Abbildung 13: Zielerreichung mit vs. ohne MicroPort 25

Abbildung 14: Einfluss der Transportkapazitäten auf die Zielerreichung 26

Abbildung 15: Einfluss der Distanz der Kundenstandorte zum MicroPort 26

Abbildung 16: Oberfläche der Ökobilanzierungsberechnung 27

Abbildung 17: Übersicht CO_2eq.-Emissionen 27

Abbildung 18: CO_2eq.-Emissionen mit MicroPort abhängig von Kundenstandort und dem per Binnenschiff transportierten Containeranteil 28

Abbildung 19: Prozess der MicroPorts-Konzepteinbindung in bestehende logistische Netzwerke 29

Abbildung 20: Kategorisierung möglicher Services im Kontext von Betriebsmodelle 31

Abbildung 21: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine 33

Abbildung 22: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine (links) und Unitiy3D (rechts) 34

Abbildung 23: AR-Ansicht für die Standorte Drakenburg (links), Hoya (mittig) und Nienburg (rechts) 34

Abbildung 24: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine in der mobilen Ansicht (links) und in Unity3D in der mobilen Ansicht (rechts) 35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Notwendige Unterlagen für eine Planfeststellung für MicroPorts 11

Tabelle 2: Mindestanforderungen und Zusatzanforderungen an die Konzeption von MicroPorts 12

Tabelle 3: Morphologischer Kasten 13

Tabelle 4: Bewertung der Konzepte. + positive, o neutrale und – negative Bewertung in Bezug auf das Bewertungskriterium im Vergleich zwischen den Konzepten...22

I Projektdarstellung und allgemeiner Projektverlauf

I.1 Aufgabenstellung

Der Gütertransport erfolgt in Deutschland heute schwerpunktmäßig über das Straßen- und Schienennetz. Dies führt zu einem hohen Transportaufkommen, was sich bspw. durch Lieferverzögerungen und ein vermehrtes Stauaufkommen zeigt. Eine mögliche Alternative und Ergänzung zum landseitigen Transport stellt der Gütertransport per Schiff auf Binnenwasserwegen dar. Das übergeordnete Ziel des Forschungsprojekts lag in diesem Zusammenhang in der Konzeption und Überprüfung des Potenzials dezentraler Umschlagspunkte als Ergänzung zu bestehenden Häfen. Durch diese sogenannten MicroPorts sollen die Zu- und Abfahrtswege zu den Häfen reduziert und damit die Attraktivität des Binnenschifftransports gesteigert werden.

Die Projektarbeiten waren in die folgenden Teilbereiche gegliedert:

- Technische Konzepte und Systemarchitektur: Es wurden Konzepte für die technische Umsetzung von MicroPorts entwickelt. Die Grundidee lag in der Integration vorhandener Infrastruktur in die technische Umsetzung, bspw. durch das Anbringen der Greifersysteme für den Containerumschlag an bestehenden Brücken.
- Simulationsbasierte Evaluation: Das Potenzial der MicroPorts wurde im Hinblick auf ökonomische und ökologische Zielgrößen im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht.
- Entwicklung von Betriebsmodellen: Es wurden Stakeholderanalysen durchgeführt, um Anforderungen an MicroPorts zu definieren und die möglichen Dienstleistungen im Hinblick auf das Aufwand-Nutzen-Verhältnis zu bewerten.

Um den Praxisbezug sicherzustellen, wurden die Lösungen des Projekts anhand eines realen Anwendungsfalls entwickelt. Für die Entwicklung der technischen Konzepte wurden beispielhafte, reale Standorte ausgewählt. Die simulationsbasierte Evaluation basierte ebenfalls auf einer realen Binnenschiffroute. Im Hinblick auf die spätere Anwendbarkeit des Projekts wurden zudem auch rechtliche Rahmenbedingungen für die Planung und Inbetriebnahme von MicroPorts betrachtet.

I.2 Voraussetzungen des Vorhabens

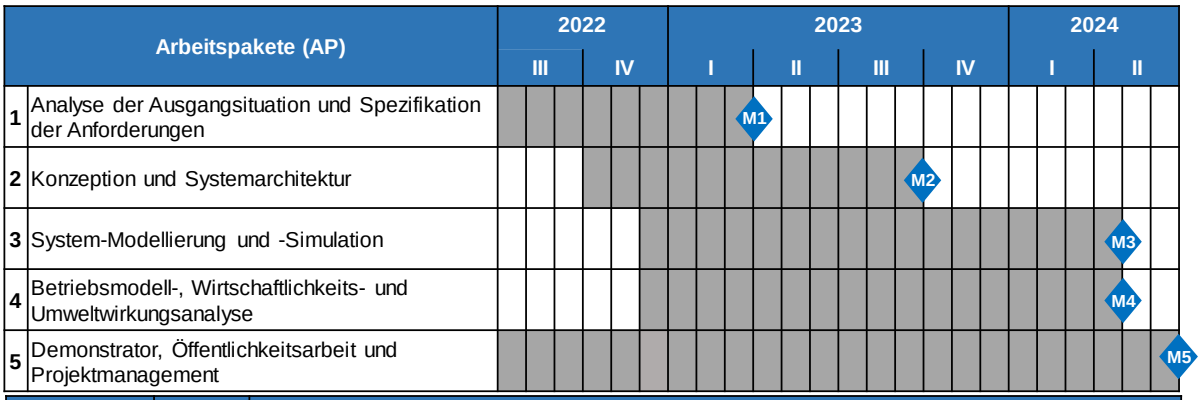
Das Projekt wurde als Verbundvorhaben zwischen dem BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH (BIBA) und der Norddeutsche Wasserweg Logistik GmbH (NWL) durchgeführt. Das BIBA brachte als Forschungspartner seine umfangreichen Erfahrungen in der Konzeption technischer Lösungen und der Modellierung und simulationsbasierten Bewertung logistischer Abläufe in das Projekt ein. NWL führt Güter- und Containertransporte per Binnenschiff zwischen Bremerhaven, Antwerpen, Rotterdam, Amsterdam und diversen anderen

Binnenhäfen in Norddeutschland durch. Das Unternehmen hat seine umfangreichen Kenntnisse und praktischen Erfahrungen in den Bereichen der Binnenschifffahrt und des Containertransports in das Projekt eingebracht.

Im Rahmen des Projekts wurde großen Wert auf eine spätere praktische Anwendbarkeit der Projektergebnisse gelegt. Der Praxisbezug wurde durch die Beteiligung von NWL bei der Definition von Anforderungen und der Konzeption technischer und organisatorischer Lösungen sichergestellt. Die Konzeption der MicroPorts und die simulationsbasierte Bewertung erfolgte anhand eines realen Anwendungsfalls, für den die NWL die entsprechenden Informationen und Daten zur Verfügung gestellt hat. Um einen möglichen Transfer des MicroPorts-Konzepts in die Anwendung zu ermöglichen, wurden zudem auch die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Aufbau von MicroPorts analysiert und kritisch bewertet.

I.3 Planung und zeitlicher Verlauf

Die Laufzeit des Projekts war auf 24 Monate festgelegt. Der Arbeitsplan umfasste fünf Arbeitspakete (AP) und ist in seiner zeitlichen Abfolge in Abbildung 1 als Balkendiagramm mit Meilensteinen dargestellt. Der Start des Projekts war am 01.07.2022.



Meilenstein	Monat	Beschreibung
M1	9	Lastenheft
M2	15	Pflichtenheft
M3	22	Simulationsergebnisse
M4	22	Wirtschaftlichkeit der Anwendungsfälle
M5	24	Demonstrator, Dokumentation und Veröffentlichungen

Abbildung 1: Zeitplan und Meilensteine

In AP 1 (Analyse der Ausgangssituation und Spezifikation der Anforderungen) wurden die Grundlagen für die Durchführbarkeitsstudie gelegt, indem die Ist-Situation und der Stand der Technik analysiert wurden, sodass Anforderungen an das Gesamtsystem abgeleitet werden konnten. In AP 2 (Konzeption und Systemarchitektur) erfolgte exemplarisch eine technische Konzeption von MicroPorts für Standorte eines realen Anwendungsfalls. Dabei wurden unterschiedliche Gestaltungsvarianten berücksichtigt und es wurden allgemeine Gestaltungsoptionen abgeleitet. In AP 3 (System-Modellierung und -Simulation) erfolgte eine simulationsbasierte Bewertung des Gesamtkonzepts anhand des ausgewählten Anwendungsfalls. Für die Bewertung wurden sowohl ökonomische als auch ökologische Kennzahlen

herangezogen. Im Rahmen des AP 4 (Betriebsmodell-, Wirtschaftlichkeits- und Umweltwirkungsanalyse) wurde der mögliche Leistungsumfang von MicroPorts analysiert und es wurden Betriebsmodelle für die MicroPorts entwickelt. Über die gesamte Projektlaufzeit erstreckte sich das AP 5 (Demonstrator, Öffentlichkeitsarbeit und Projektmanagement), das sich mit dem Projektmanagement und der Öffentlichkeitsarbeit befasste. Zudem wurde in diesem AP ein VR-/AR-Demonstrator entwickelt, der die im Projekt entwickelten technischen Lösungen visualisiert.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

I.4.1 Genutzte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

- Keine -

I.4.2 Verwendete Fachliteratur sowie genutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Das BIBA konnte verschiedene Vorarbeiten im Bereich Planung, Gestaltung und Bewertung von Prozessen im Hafenbereich in das Projekt einbringen. Durch das Projekt Stradegy konnte das BIBA umfassende Kenntnisse hinsichtlich der Pilotierung von Großgeräten und der Ablauf- und Kostensimulation für Containerterminals erlangen. Ziel des Projekts war die Untersuchung der Automatisierung von Straddle Carriern in norddeutschen Containerterminals durch einen dreistufigen Ansatz: (1) Errichtung einer Pilotanlage am Containerterminal Wilhelmshaven zur Durchführung prototypischer Experimente unter möglichst realen Umgebungsbedingungen. (2) Untersuchung der Eignung des Systems für operative Bedingungen eines Megacontainerterminals durch Simulation und Emulation. (3) Bewertung der Wirtschaftlichkeit durch eine Kostensimulationsstudie. Zusätzlich wurden Leitfäden für einen erfolgreichen Technologie-Rollout entwickelt [1], [2]. Einschlägige Erfahrung zu den Themen Planung und Steuerung sowie Optimierung von Terminals konnte das BIBA ebenfalls sammeln. So wurde in den Projekten Isabella und Isabella 2.0 Projekt Lösungen für die Verbesserung der Planung und Steuerung auf See- und Binnenhäfen entwickelt. Als Ergebnis konnten Planungsalternativen simulationsbasiert bewertet und die Ergebnisse über die Planungsoberfläche dargestellt werden. Zudem wurde für die Steuerung der Fahrzeugbewegungen ein Optimierungsalgorithmus entwickelt, der eine individuelle Prozesssteuerung in Abhängigkeit des Fahrzeugstandorts ermöglicht [3], [4]. Durch das Projekt ProDiS konnte das BIBA Erfahrungen in der Entwicklung und Erprobung skalierbarer und modularisierter unternehmensübergreifender digitaler Dienstleistungen für Seehäfen gewinnen [5]. Bezüglich der Konzeption und Umsetzung technischer Lösungen kann das BIBA ebenfalls auf eine lange Historie zurückblicken. Im Rahmen des Projekts IRiS wurde etwa ein System zur automatischen Entladung von Seecontainern entwickelt. Dabei wurden alle Schritte der Produktentwicklung durch das BIBA umgesetzt: Von der Anforderungsanalyse über die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Konzeption, bis hin zur Entwicklung des mechatronischen Systems inkl. Konstruktion, Elektrik, Programmierung sowie Aufbau und Tests des Systems [6].

Der Projektpartner NWL führt Güter- und Containertransporte per Binnenschiff zwischen Bremerhaven, Antwerpen, Rotterdam, Amsterdam und diversen anderen Binnenhäfen in Norddeutschland durch. Damit hat das Unternehmen umfangreiche Kenntnisse in den Bereichen der Binnenschifffahrt und des Containertransports. NWL hat als Anwendungspartner diese Kenntnisse insbesondere bei der Definition der Anforderungen und der Definition von geeigneten Anwendungsszenarien einbringen.

Im Rahmen des Projekts wurden Literaturrecherchen zu verschiedenen Themengebieten durchgeführt. Für die Standortauswahl wurden Kriterien zur Bewertung und Auswahl möglicher Standorte recherchiert. [7] beinhaltet bspw. einen umfassenden Überblick über die Standortwahl von Häfen im Rahmen der Hafenplanung. Eine Auflistung von Kriterien zur Standortauswahl findet sich auch in [8]. Betrachtet werden die Aspekte Umwelt, Wirtschaft, Soziales, Zugänglichkeit und Standort. [9] untersuchen insbesondere den Einfluss des Zugangs zur Transportinfrastruktur auf die Standortauswahl von Logistikunternehmen. Für die Entwicklung der technischen Konzepte und Betriebsmodelle gibt [7] im Rahmen der Hafenplanung ebenfalls einen Überblick über die Anforderungen an die Terminplanung, die Funktionsbereiche von Containerterminals und mögliche Betriebssysteme für den Containerumschlag. [10] befasst sich mit der Auswahl von Container-Handlingsystemen und der Layoutplanung von Terminals. [11] befasst sich mit Möglichkeiten der Effizienzsteigerung des Binnenschifftransports durch die Auswahl und optimale Konfiguration des Handlingequipments in Inlandterminals. [12] befassen sich mit den Anforderungen an Binnenschiffterminals sowie möglichen Funktionen und Services, um die Wettbewerbsfähigkeit des Binnenschiffstransports zu verbessern.

Für die Entwicklung der Lösungen wurden im Rahmen des Projekts folgende Tools und Werkzeuge verwendet: Für die Beschreibung des Anwendungsfalls und die Standortauswahl wurde unter anderem auf Informationen aus dem Handbuch der europäischen Binnenschifffahrt (WESKA) und Elwis (https://www.elwis.de/) zurückgegriffen. Für die simulationsbasierte Bewertung wurde das Simulationstool *Anylogic* verwendet, welches eine ereignisorientierte und auch agentenbasierte Simulation unterstützt. Für die ökologische Bewertung der modellierten Prozesse wurde *Umberto* verwendet. Diese Software ermöglicht die Erstellung von Ökobilanzen, deren Ergebnisse jeweils in Bezug auf eine sog. Funktionelle Einheit dargestellt werden. In diesem Fall ist dies die Dienstleistung *Transport eines Containers*. Als Evaluationsmethode wurde ReCiPe (2016) gewählt. Für die Demonstratorentwicklung wurden diverse Softwaretools genutzt. Zum einen wurde für die optische Einpassung der Häfen *Korfin* verwendet, mit dessen Hilfe das digitale Terrain generiert wurde. Dieses wurde daraufhin in *blender* überführt, eine 3D-Modellierungssoftware. In *blender* wurden alle 3D-Modelle erstellt und für den finalen Demonstrator auch animiert. Die gesamten Szenen wurden anfangs in die *Unreal Engine 5.3* eingegliedert um den Export für die VR-Brille vorzubereiten. Im weiteren Projektverlauf musste allerding zu *Unity3D Pro* gewechselt werden, womit auch schlussendlich der AR- und VR-Demonstrator entwickelt und exportiert wurde. Die Standortbewertung für die Auswahl exemplarischer MicroPorts-Standorte erfolgte mit Hilfe von OpenStreetMap (OSM). Die OSM-Suchabfragen wurden über *overpass turbo* (https://overpass-turbo.eu/) durchgeführt.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

An dem Projekt waren antragsgemäß die Projektpartner BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH und NWL – Norddeutsche Wasserweg Logistik GmbH beteiligt. Im Verlauf des Forschungsprojekts wurde darüber hinaus im Rahmen von F&E-Aufträgen mit externen Partnern zusammengearbeitet: Das Unternehmen DHochN-Jade Digital Engineering GmbH: DHochN wurde mit einer statischen Beurteilung der technischen Konzepte beauftragt, um die Machbarkeit der Konzepte zu überprüfen. Die Sellhorn ingenieurgesellschaft mbh erbrachte Beratungsleistungen im Hinblick auf rechtliche und genehmigungsrelevante Fragestellungen für die Beantragung und den Bau von MicroPorts. Zudem wurde assoziiert mit der Hochschule Emden Leer (Prof. Dr. Markus Bentin) zusammengearbeitet. Prof. Dr. Markus Bentin hat das Projekt durch die Betreuung von Abschlussarbeiten zu rechtlichen und genehmigungsrechtlichen Fragestellungen unterstützt.

Für die Verbreitung der Projektergebnisse erfolgte eine Zusammenarbeit mit dem Mittelstand-Digital Zentrum Bremen-Oldenburg“. Das BIBA ist Partner im Mittelstand-Digital Zentrum Bremen-Oldenburg, einer Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Das Zentrum verfolgt das Ziel, den Digitalisierungsstand in der Metropolregion Nordwest durch individuelle Unterstützungsmaßnahmen zu erhöhen. Über das Netzwerk fand eine Verbreitung der Inhalte und Bekanntmachung von Veranstaltungen statt. Der Projektpartner NWL ist Mitglied im Wirtschaftsverband Weser (https://www.wv-weser.de/) und in der ISH – Initiative stadtbremische Häfen (https://www.ish-bremen.de/). Zudem kann NWL für die Verbreitung der Ergebnisse auch auf das Netzwerk von Rhenus zurückgegriffen werden.

II Eingehende Darstellung

II.1 Projektergebnisse

II.1.1 Arbeitspaket 1: Ist-Aufnahme und Anforderungsanalyse

Innerhalb des Arbeitspaket (AP) 1 wurden die Grundlagen für die Durchführbarkeitsstudie gelegt. Dabei wurde zunächst anhand der von NWL bedienten Binnenschiffrouten ein realer Anwendungsfall ausgewählt und beschrieben. Basierend auf dem Anwendungsfall und anhand von Literaturrecherchen wurden Anforderungen an mögliche MicroPorts-Standorte identifiziert und kategorisiert. Basierend auf den Anforderungen wurde ein Vorgehen zur Standortauswahl abgeleitet und es wurden exemplarische Standorte innerhalb des beschriebenen Anwendungsfalls ausgewählt. Als Basis für die technische Konzeption der MicroPorts in AP 2 wurden innerbetriebliche Prozesse an Häfen beschrieben und hinsichtlich ihrer Relevanz für MicroPorts bewertet. Damit sollte sichergestellt werden, dass bei der Konzeption der MicroPorts alle notwendigen Voraussetzungen für die Abwicklung der logistischen Prozesse mitberücksichtigt werden. In diesem Kontext wurden auch mögliche Stakeholder identifiziert und deren Anforderungen an die technische und organisatorische Gestaltung der MicroPorts

erfasst. Im Rahmen eines Unterauftrags wurden zudem rechtliche Aspekte für die Genehmigung und den Bau von MicroPorts analysiert. Damit sollte die praktische Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen sichergestellt werden, um einen möglichen späteren Transfer des MicroPorts-Konzepts in die Anwendung zu erleichtern.

Das Arbeitspaket wurde durch den Anwendungspartner NWL geleitet. Die Schwerpunkte des BIBA in diesem AP lagen in der Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Standortauswahl und der exemplarischen Anwendung anhand des durch NWL beschriebenen Anwendungsfalls. Zudem koordinierte das BIBA im Rahmen der Gesamtprojektleitung den Unterauftrag zur Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse des Arbeitspakts sind nachfolgend dargestellt.

Auswahl eines realen Anwendungsfalls

Für die Auswahl des Anwendungsfalls wurden die durch NWL bedienten Binnenschiffrouten (vgl. Abbildung 2) hinsichtlich ihrer Eignung für das Projekt analysiert.

Abbildung 2: durch NWL bediente Binnenschiffrouten

Als Anwendungsszenario für das Projekt wurde die Strecke von Bremerhaven über Minden bis nach Fallersleben ausgewählt. Auf der Route ist derzeit zwischen Bremen und Minden keine Umschlagsmöglichkeit für Container vorhanden, sodass ein MicroPorts auf dieser Teilstrecke als sinnvoll erachtet wurde. Eine Analyse des tatsächlichen Potenzials bei der Errichtung eines MicroPorts auf der ausgewählten Strecke wurde im weiteren Projektverlauf in AP 4 durchgeführt. Betrachtet wurde im weiteren Projektverlauf nur die Teilstrecke zwischen Bremerhaven und Minden, da zwischen Minden und Fallersleben bereits ausreichende Möglichkeiten für den Containerumschlag bestehen.

Die anderen Routen wurden aus den folgenden Gründen nicht berücksichtigt: Auf der Route zwischen Dörpen und Eemshaven werden Kreuzfahrtschiffe durch die Meyerwerft

(https://www.meyerwerft.de/) überführt. Ein MicroPort würde die Durchfahrt für die Kreuzfahrschiffe versperren. Auf der Strecke von Dörpen nach Bremerhaven ist der Küstenkanal zu schmal, das Be- und Entladen an den MicroPorts würde auch hier die Durchfahrt für andere Schiffe versperren. Zwischen Bremerhaven und den ARA-Häfen sind die Brücken größtenteils beweglich und damit nicht geeignet für die Installation von MicroPorts.

Auf der ausgewählten Strecke werden schwerpunktmäßig Container für den Automotive-Bereich transportiert (ca. 95 Prozent des Transportaufkommens). In geringen Mengen werden auch Kohle, Schüttgüter, Stückgüter und Komponenten für Windkraftanlagen transportiert. Zum Zeitpunkt der Prozessaufnahme wurde durch NWL ein fester Rundlauf pro Woche zwischen Bremerhaven und Fallersleben angeboten. Weitere Fahrten wurden bedarfsorientiert angeboten. In diesen Fällen bestand kein fester Fahrplan, sondern die Fahrten erfolgten kunden- und ladungsorientiert. Besonderheiten der Strecke sind unter anderem zeitliche Restriktionen durch Schleusen auf der Mittelweser sowie eine Begrenzung der Containertransporte auf zwei Lagen aufgrund niedriger Brückendurchfahrtshöhen.

Standortanforderungen und Vorgehen zur Standortauswahl

Das Projekt basierte auf der Grundidee, vorhandene Brücken in die technische Konzeption der MicroPorts zu integrieren, bspw. durch die Anbringung der Umschlagvorrichtung an der Brücke. Zur Standortauswahl wurden deshalb alle Straßenbrücken auf der Strecke des Anwendungsszenarios identifiziert. Die Brücken wurden mittels OpenStreetMap-Abfragen mit Hilfe von overpass turbo (https://overpass-turbo.eu/) ermittelt. Als Ergebnis wurden 26 Straßenbrücken identifiziert. Kleinere Wegebrücken für Fußgänger/Radfahrer wurden ausgeschlossen. Eisenbahnbrücken wurden nicht betrachtet, da ein direkter Umschlag zwischen Binnenschiff und Zug logistisch und technisch schwer umsetzbar wäre. Außerdem wurden Autobahnbrücken ausgeschlossen, da der Eingriff in den fließenden Verkehr (bspw. Haltespur für LKW) auf der Autobahn deutlich schwerer umsetzbar wäre.

Für die Bewertung dieser Standorte wurden basierend auf Literaturrecherchen und Workshops der Projektpartner folgenden Kategorien definiert.

- **Bedarfssituation:** Es wird bewertet, ob sich potenzielle Kunden (Industriestandorte) im Umkreis des Standorts befinden und ob bereits bestehende Umschlagsmöglichen vorhanden sind.
- **Verkehrsinfrastruktur:** Die Standorte werden für den multimodalen Umschlag hinsichtlich ihrer Anbindung an das Straßennetz (Bundesstraßen, Schnellstraßen, Autobahn) und die Bahn (Bahngleise, (Güter-)Bahnhöfe) bewertet.
- **Umwelt & Soziales:** Es werden Anforderungen im Hinblick auf die Umwelt und soziale Aspekte berücksichtigt. Dies betrifft z.B. das Vorhandensein von Naturschutzgebieten oder vorhandene Wohngebiete im Umkreis der Standorte.
- **Bauliche Voraussetzungen:** Es wird bewertet, ob die vorhandene Fläche für den MicroPort ausreicht und ob bereits Infrastruktur vorhanden ist, die für den MicroPort genutzt werden könnte (z.B. Brücken, befestigte Ufer, Schleuseninfrastruktur).

Grundlage für die Bewertung waren OpenStreetMap-Abfragen. Für die Bedarfssituation wurde bspw. abgefragt, wie viele Industrieflächen sich in einem bestimmten Radius um den möglichen Standort befinden (vgl. als Beispiel Abbildung 3). Für die weiteren Faktoren wurden die Suchabfragen entsprechend angepasst, um bspw. Straßen, Bahnhöfe, Anwohnergebiete oder Naturschutzgebiete zu identifizieren.

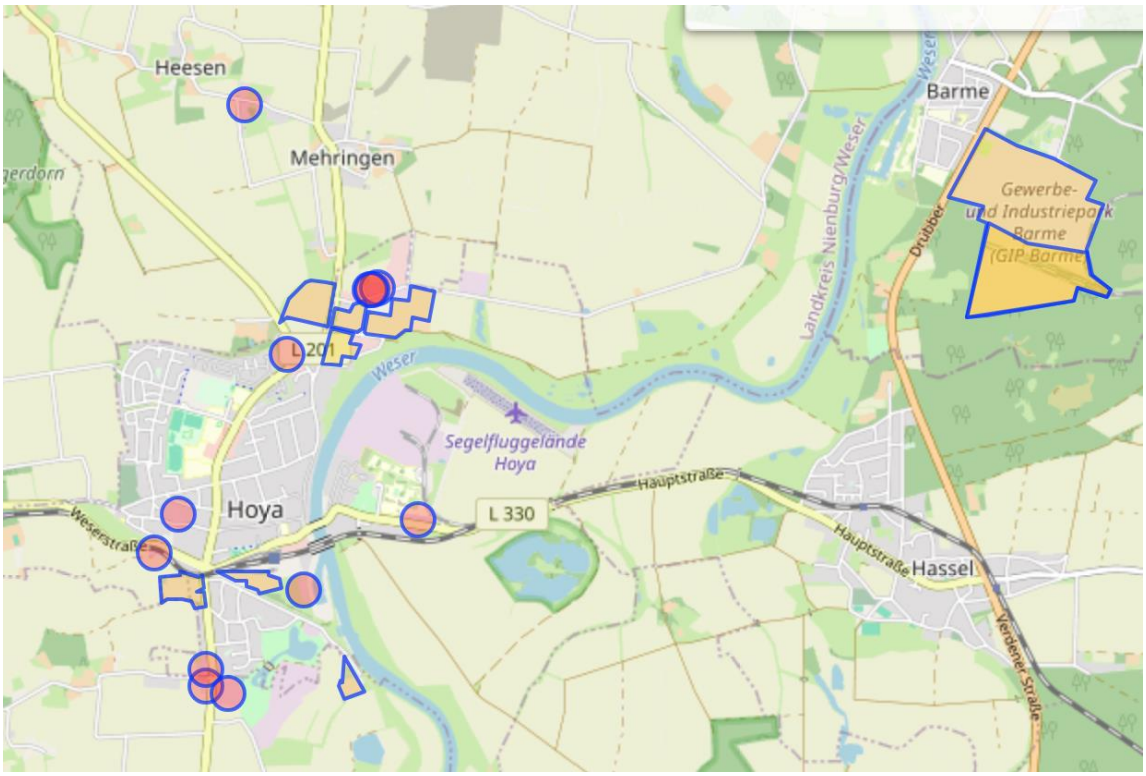


Abbildung 3: Ergebnis einer beispielhaften OSM-Abfrage: Industrieflächen im 5km-Umfeld der Straßenbrücke in Hoya

Das beschriebene Vorgehen ermöglicht einen objektiven Vergleich und eignete sich für eine erste Bewertung und Vorauswahl möglicher Standorte im Rahmen der durchgeführten Potentialanalyse. Im Falle einer konkreten Standortplanung müsste die Bewertung um weitere Informationsquellen und Analysen ergänzt und detailliert werden. So ist z.B. die Anzahl der Industriegebiete nur ein erster Indikator für die Anzahl möglicher Kunden. Für die Abschätzung des tatsächlichen Bedarfs müssen weitere Faktoren der ansässigen Industrie wie bspw. Größe, Artikelspektrum, Umsatz, etc. abgefragt werden. Zudem können nicht alle Faktoren über OSM quantifiziert werden. Bauliche Voraussetzungen (bspw. befestigte Ufer, Flächenangebot) wurden für einzelne Standorte im Projekt durch Vor-Ort-Besichtigungen aufgenommen und müssten bei einer realen Planung abhängig vom Standort und vom technischen Konzept des MicroPort technisch bewertet werden (bspw. im Hinblick auf die Belastbarkeit und Tragfähigkeit).

Bei der Bewertung haben sich für alle 26 Standorte ähnliche Ergebnisse ergeben. In einem 20km-Umfeld liegen i.d.R. zahlreiche Industrieflächen, die Verkehrsanbindung im nahen Umfeld (mindesten an die Bundesstraße) ist für alle Standorte gegeben. Wichtigstes Entscheidungskriterium war eine ausreichende Distanz der Standorte zu den bestehenden

Häfen in Bremen und Minden. Zudem wurden darauf geachtet, Standorte mit unterschiedlichen Voraussetzungen im Hinblick auf die Infrastruktur auszuwählen, um im weiteren Projektverlauf möglichst unterschiedliche technische Konzepte entwickeln zu können. Die Route zwischen Bremen und Minden sowie die ausgewählten Standorte sind in Abbildung 4 dargestellt.

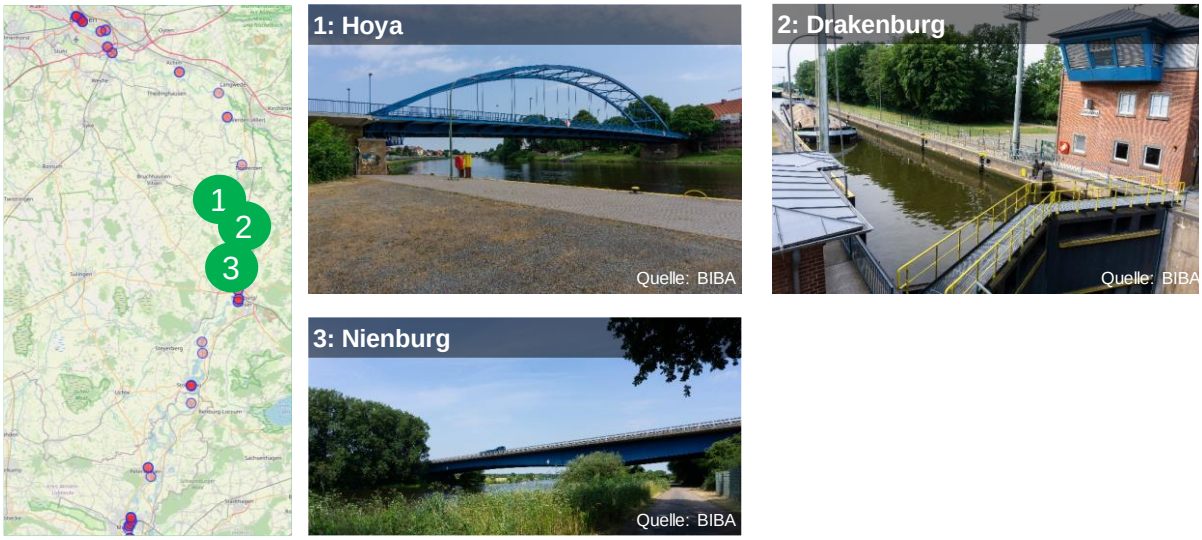


Abbildung 4: Ausgewählte Standorte

Innerbetriebliche Prozesse an Häfen

Für die Aufnahme der innerbetrieblichen Prozesse an Häfen wurde eine Hafenbesichtigung bei der Griepe Container GmbH in Bremen (https://griepe-container.de/) durchgeführt. Der Hafen wird von NWL regelmäßig für den Umschlag von Containern angefahren. Der aufgenommene Prozessablauf bei Griepe von der Kundenanfrage bis zur Lieferung der Container ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

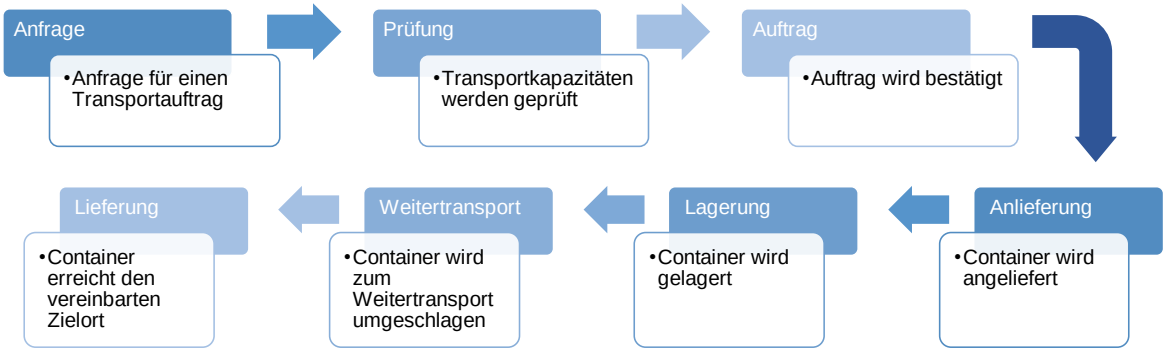


Abbildung 5: innerbetriebliche Prozesse im Hafen

Zudem wurden für die Prozessdurchführung bestehende Ansätze und Konzepte für den Containerumschlag (bspw. Stapler, Reachstacker) und die Lagerung von Containern (bspw. Bodenlagerung, Hochregallager) recherchiert und hinsichtlich ihrer Eignung für MicroPorts klassifiziert.

Stakeholder von MicroPorts

In mehreren Workshops wurden mögliche Stakeholder des MicroPorts-Konzepts identifiziert und deren Anforderungen detailliert beschrieben. Als Stakeholder-Kategorien wurden Transportdienstleister (Schiff, LKW), Recht und Gesellschaft (bspw. Behörden, Anwohner), allgemeine Dienstleister (bspw. Reparatur von Containern, Catering), Kunden/Versender (z.B. Privatkunden, Speditionen) und mögliche MicroPorts-Betreiber (z.B. Spedition, Behörde) identifiziert. Bei den Diskussionen bezüglich der Anforderungen der verschiedenen Interessensgruppen wurde festgestellt, dass die Hauptanforderungen für den operativen Betrieb durch die Transportdienstleister gestellt werden. Diese wünschen sich einen möglichst effizienten und zuverlässigen Containerumschlag (z.B. geringe Wartezeiten, möglichst digitale Abwicklung, alle nötigen Services verfügbar) zu möglichst geringen Umschlagskosten Vorausgesetzt wird zudem eine hohe Sicherheit (z.B. sicheres An- und Ablegen). Mögliche MicroPorts-Betreiber haben ähnliche Anforderungen im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Effizienz, um für mögliche Kunden attraktiv zu sein. Die Anforderungen sonstiger Dienstleister (nicht umschlagsbezogene Services) ist stark abhängig von der jeweiligen Dienstleistung und kann nicht verallgemeinert werden. Rechtliche und gesellschaftliche Anforderungen müssen zwingend bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden. Die beschriebene Stakeholder-Analyse ging im weiteren Projektverlauf in die Betriebsmodellentwicklung (vgl. AP 4) ein.

Rechtliche Aspekte

Im Rahmen eines Unterauftrags an die Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH wurden rechtliche und genehmigungsrelevante Fragestellungen und Zuständigkeiten bei der Planung und Genehmigung von Häfen analysiert.

Grundsätzlich sind in Deutschland für viele Vorhaben und Projekte Genehmigungsverfahren zur Sicherstellung der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sowie potenzieller Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Sicherheit notwendig. Es bestehen bundeweite Gesetze und Regelungen, darüber hinaus haben einzelne Bundesländer eigene Landesgesetze und Verordnungen.

Je nach geplanten Bauvorhaben variiert der Umfang des Genehmigungsverfahrens bis zur Erteilung der Baugenehmigung. Im Genehmigungsverfahren wird eine umfassende Prüfung des Vorhabens durch die zuständigen Behörden, die Beteiligung der Öffentlichkeit und ggf. durch Fachgutachter vorgenommen. Für die Genehmigung eines Hafens sind beispielsweise unter anderem folgende Genehmigungen erforderlich: Baugenehmigung, wasserrechtliche Genehmigung, Schifffahrtsgenehmigung, Betriebsanlagengenehmigung bzw. immissionsschutzrechtliche Genehmigung, naturschutzrechtliche Genehmigung, denkmalschutzrechtliche Genehmigung, gewerberechtliche Genehmigung. Die Genehmigungen werden durch unterschiedliche Behörden erteilt.

Für größere Infrastrukturvorhaben sind Planfeststellungsverfahren als Genehmigungsverfahren zur Sicherstellung öffentlicher und privater Interessen notwendig. Der Ablauf eines Planfeststellungsverfahrens ist wie folgt. Im Planfeststellungsverfahren erstellt im ersten

Schritt der Vorhabenträger umfangreiche Planunterlagen und reicht diese mit Antrag auf Planfeststellung bei der Planfeststellungsbehörde ein. Im darauffolgenden Anhörungsverfahren werden allen betroffenen Träger öffentlicher Belange (Fachbehörden, Gemeinden, Verbände, etc.) die Planunterlagen zur Verfügung gestellt und anschließend in den betroffenen Gemeinden öffentlich ausgelegt. Falls Einwendungen eingereicht werden, werden die einwendenden Personen eingeladen, an einem Erörterungstermin die Standpunkte mit dem Vorhabenträger zu diskutieren. Ziel ist die Schaffung eines Interessensausgleiches. Die Anhörungsergebnisse werden durch die Planfeststellungsbehörde abgewogen. Der Planfeststellungsbeschluss wird erteilt, sofern alle Voraussetzungen, Arbeitsaufträge und Prüfaspekte erfüllt sind.

Wenn für den Bau eines MicroPorts ein Planfeststellungsverfahren angestrebt werden sollte, ist die Notwendigkeit der Unterlagen insbesondere in den folgenden Kategorien (vgl. Tabelle 1) zu prüfen.

Tabelle 1: Notwendige Unterlagen für eine Planfeststellung für MicroPorts

Kategorien	Unterlagen
Technische Aspekte	• Abschätzung des baulichen Aufwandes zur Errichtung der erforderlichen Bauwerke (Überprüfung der bestehenden Anlagen auf zukünftig zu erwartende Güterströme und Lasten), • erforderliche Baggerarbeiten, • Anforderungen an die Unterhaltung, • Anforderungen an umliegende technische Einrichtungen, • statische und hydraulische Berechnungen
Beeinträchtigung von Verkehren	Zu den Verkehren zählen Flugverkehr, Schifffahrt, Schiene, Straße, bestehende Güterströme von Gewerbe-/Industriebetrieben. • Werden andere Verkehrsteilnehmer beeinträchtigt? • Sind nautische Restriktionen für die Abschnitte bekannt?
Eigentums- und Vertragsverhältnisse	• Überprüfung von bestehenden Nutzungsverträgen und Betroffenheit bestehender Vertragsverhältnisse. • Sind die Flächen verfügbar/ verpachtet/ vermietet?
Umweltauswirkungen	• Liegen die Gebiete in geschützten Biotopen/ Natura 2000-Schutzgebieten? • Ist mit einem Biotopverlust zu rechnen? • Haben mögliche Baumaßnahmen hydrologische Auswirkungen? • Kommt es zu absehbaren Wirkungen im Umfeld? • Sind artenschutzrechtliche Aspekte betroffen? Werden Wohn-, Siedlungs- und Erholungsbereiche beeinträchtigt (Lärm, Luftschadstoffe)?

Insgesamt kann festgehalten werden, dass in Deutschland umfangreiche Genehmigungsprozesse durch verschiedene Behörden erforderlich sind. Neben bundesweiten Gesetzen und Regelungen haben die Bundesländer zusätzlich meist eigene Landesgesetze und Verordnungen. Aus diesem Grund sind die Genehmigungsprozesse abhängig vom Standort des jeweiligen Hafens und können nicht verallgemeinert werden.

II.1.2 Arbeitspaket 2: Konzeption und Systemarchitektur

In AP 2 wurden unterschiedliche Lösungsansätze für das Gesamtsystem konzipiert. Das Arbeitspaket wurde durch das BIBA geleitet. Schwerpunkt des BIBA in diesem AP war die Entwicklung von technischen Konzepten für unterschiedliche MicroPorts-Standorte. Die Ergebnisse des Arbeitspakts sind nachfolgend dargestellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 1 wurden zunächst Mindest- und Zusatzanforderungen an das Gesamtsystem festgelegt (siehe Tabelle 2). Dabei wurde festgelegt, dass MicroPorts nicht den vollen Dienstleistungsumfang regulärer Häfen anbieten sollen, sondern sich auf die notwendigen Kernfunktionen beschränken. Im Wesentlichen beinhaltet dies das Bereitstellen und das Be- und Entladen von Containern, die mit dem Umschlag einhergehende Dokumentation sowie das kurzzeitige Zwischenpuffern von Containern, die auf einen Weitertransport warten. Durch die Beschränkung auf die wesentlichen Kernfunktionen soll der Ressourcenbedarf der MicroPorts (insbesondere der Flächenbedarf) geringgehalten werden, um den Einfluss der MicroPorts auf die Umwelt zu minimieren und eine höhere Flexibilität bei der Standortauswahl zu haben. Darüber hinaus wurden in Workshops zwischen dem BIBA und NWL unterschiedliche äußere Einflussfaktoren identifiziert (z.B. Wasserstände, Witterungsbedingungen, gesetzliche Fahrzeiten, wechselnde Auftragslagen), welche das Gesamtsystem beeinflussen.

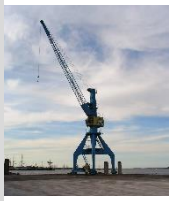
Tabelle 2: Mindestanforderungen und Zusatzanforderungen an die Konzeption von MicroPorts

Mindestanforderungen	Zusatzanforderungen
Umschlagsvorrichtung für Container	möglichst kostengünstig
Lagerfläche für kurzzeitige Lagerung	flexible und mobile Nutzung
Anleger für Binnenschiff	keine Einschränkung anderer Verkehrsteilnehmer
Straßen- und oder Zuganbindung	wenig Eingriff in die Umwelt
Flächen zum Be- und Entladen von LKW und oder Zug	

Abhängig von der Bedarfssituation können stationäre oder mobile Lösungen für das Containerhandling eingeplant werden. Stationäre Lösungen (z.B. Portalkräne) bieten sich an, wenn

eine konstante Nachfrage vorliegt und der MicroPort dauerhaft an einem Standort betrieben werden soll. Mobile Lösungen (z.B. Reachstacker) haben dagegen den Vorteil, dass sie ortsunabhängig eingesetzt werden können. Damit kann flexibel auf Änderungen der Bedarfssituation reagiert werden und der MicroPort könnte gegebenenfalls (z.B. projektabhängig) an verschiedenen Standorten aufgebaut und betrieben werden. Unterschiedliche Optionen wurden im Rahmen des Projekts mit Hilfe eines morphologischen Kastens identifiziert (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Morphologischer Kasten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Anlegen	**Im Wasser**	**Kai**	**Schwimmanleger (Steiger)**
	Das Binnenschiff liegt in der Kanalmitte.	Das Binnenschiff liegt an einer Kaimauer an.	Das Binnenschiff liegt an einem Schwimmenanleger.
Umschlagen vom Wasser	**Hafenkran**	**Portalkran**	**Reachstacker**
			
	Umschlag durch feststehenden Drehkran.	Umschlag durch auf Schienen laufenden Portalkran.	Umschlag durch Rach Stacker.
Lagerart	**Lagerfläche**	**Hochregallager**	
	Lagerung auf bereitgestellter Fläche.	Lagerung im Hochregalsystem.	
Umschlagen an Land	**Portalhubwagen**	**Reachstacker**	**Seitenlader**

Umschlag durch fahrenden Portalhubwagen.

Umschlag durch Reachstacker.

Umschlag durch seitliches Ansetzen.

Es wurden unterschiedliche Lösungsansätze für die Subsysteme diskutiert und erarbeitet. Bei der Erarbeitung der standortspezifischen Konzepte wurden vor allem die praktischen Erfahrungen des Projektpartners NWL aus dem Tagesgeschäft mit eingebracht und eine Einschätzung gegeben, ob die gewählten Konzepte an den Standorten umsetzbar sind. Für die Auswahl von geeigneten Lösungsansätzen für die Subsysteme wurden zudem Auswahlkriterien (u.a. Flexibilität, Wirtschaftlichkeit, technische Machbarkeit, Sicherheit etc.) erarbeitet und priorisiert. Darüber hinaus wurden Kennwerte für die Subsysteme identifiziert, welche in AP 3 in die Simulation mit eingeflossen sind. Darunter zählen zum Beispiel die Umschlagsmenge und Kosten.

Technische Konzepte

Die Konzepte wurden anhand der in AP 1 ausgewählten Standorte Hoya, Drakenburg und Nienburg entwickelt. Die Standorte weisen dabei unterschiedliche Herausforderungen für die technischen Konzepte auf.

Beim ersten Konzept handelt es sich um das Konzept für den Standort Hoya. An dem Standort Hoya befinden sich eine Autobahnbrücke und eine Eisenbahnbrücke, sodass eine Anbindung an das Straßen- und Schienennetz möglich ist. Bei den Brücken handelt es sich um überspannte Stabbogenbrücken, was das Be- und Entladen direkt auf den Brücken erschwert. Zwischen den beiden Brücken befindet sich jedoch eine befestigte Kaimauer und eine gepflasterte Fläche, sodass hier ein Be- und Entladen möglich ist. Das Betriebskonzept sieht daher vor, die Schiffe an der Kaimauer anzudocken und über einen Reachstacker zu entladen. Für den Umschlag auf die Schiene ist eine Rampe vorgesehen, sodass der Reachstacker direkt auf einen Zug verladen kann. Dieser Standort bietet auch Platz für die kurzfristige Lagerung von Containern. Der Standort liegt jedoch in der Nähe des Stadtzentrums und ist daher nur begrenzt erweiterbar.

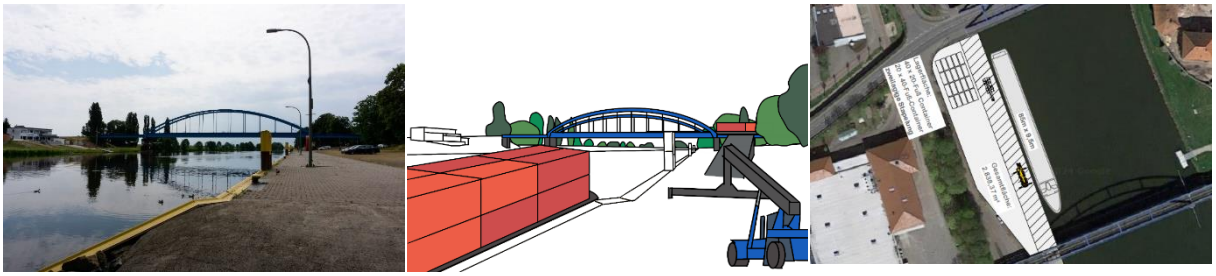


Abbildung 6: Foto vom Standort Hoya (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts)

Das zweite Konzept wurde für den Standort Drakenburg entwickelt und nutzt die vorhandene Schleuseninfrastruktur. Die Infrastruktur ist für einen MicroPort geeignet, da sich bereits eine gepflasterte Fläche neben der Schiffsschleuse befindet. Außerdem liegt sie in der Nähe eines guten Straßennetzes außerhalb einer belebten Stadt. Durch die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen kann die für die Lagerung genutzte Fläche erweitert werden. Allerdings gibt es keinen Bahnanschluss, und die Infrastruktur in der Umgebung muss verbessert werden, um LKW abzufertigen. Dennoch ist dieser Standort für MicroPorts interessant, da mögliche Wartezeiten innerhalb der Schiffsschleuse zum Be- und Entladen genutzt werden könnten. Über der Schiffsschleuse kann ein Kransystem installiert werden, für das Be- und Entladen der Container vom Binnenschiff. Ein zweites System ist für den Transport von Lagerbeständen erforderlich. Dies könnte mit einem Containergabelstapler erfolgen.

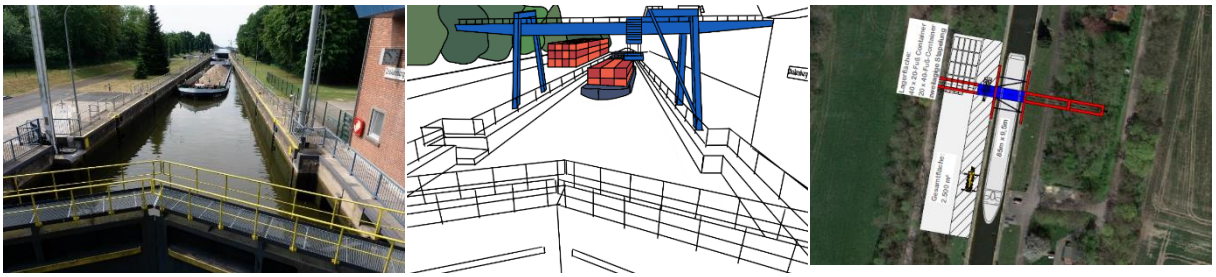


Abbildung 7: Foto vom Standort Drakenburg (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts)

Das dritte Konzept ist für die B6-Brücke in Nienburg entwickelt worden. Am Standort befindet sich eine befestigte Fläche an beiden Ufern, die mit Straßen verbunden sind und zu einer Bundesstraße führen. Diese Flächen könnten für das Be- und Entladen von LKW und die Lagerung von Containern genutzt werden. An den Ufern gibt es keine Kaimauern an denen Binnenschiffe festmachen können. Das Be- und Entladen kann jedoch in der Mitte des Flusses mit Hilfe eines Kransystems erfolgen, das seitlich an der Brücke angebracht ist und die Container zu den Ufern transportiert. Der Standort befindet sich außerdem in der Nähe eines Industriegebiets, das über einen Bahnanschluss verfügt, über den die Container für den Weitertransport auf Züge verladen werden können.

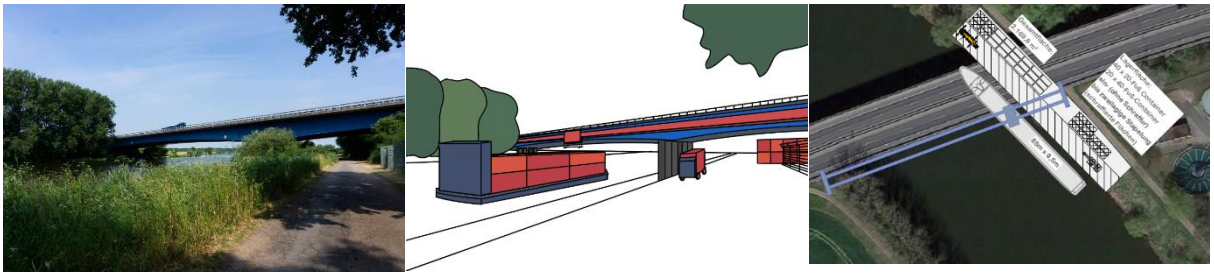


Abbildung 8: Foto vom Standort Nienburg (links) und Skizze vom Konzept am Standort (mitte und rechts)

Bei der Erstellung der Konzepte wurden unterschiedliche äußere Einflussfaktoren identifiziert (z.B. vorhandene Infrastruktur, Wohngebiete, landwirtschaftliche Flächen, Naturschutzgebiete, Lastgrenzen für Verkehrswege). Es hat sich gezeigt, dass MicroPorts maßgeblich durch

die vorhandenen Rahmenbedingungen beeinflusst werden. Dazu kommen rechtliche Fragestellungen, die durch unterschiedliche Zuständigkeiten und Gesetzlagen in Landkreisen oder Bundesländer variieren (vgl. auch Beschreibung zu AP 1). Dadurch ist die Konzeption eines MicroPorts immer maßgeblich durch den jeweiligen Standort beeinflusst. Es muss daher standortspezifisch geplant werden, wobei auf unterschiedliche Subsystemlösungen zurückgegriffen werden kann, die jeweils zu einem für den Standort passenden Gesamtsystem kombiniert werden können.

Bauliche Anforderungen und statische Randbedingungen

Im Rahmen eines Unterauftrags an die DhochN-Jade Digital Engineering GmbH wurden die baulichen Anforderungen und statischen Randbedingungen der Konzepte untersucht.

Am Standort Hoya ist bereits eine Hafenanlage mit Ufereinfassung und Pollern vorhanden. Sie wird zurzeit als Anlegestelle für Binnenschiffe genutzt sodass davon auszugehen ist, dass die Ufereinfassung und die Poller auf die Beanspruchung durch Binnenschiffe bemessen wurden. Aufschlüsse über Art und Bauweise der Ufereinfassung sowie bereits berücksichtigte Lasten könnten Bestandsunterlagen (Statik und Ausführungspläne) liefern. Diese liegen nicht vor, sodass in der weiteren Betrachtung sinnvolle Annahmen getroffen werden müssen. Die vorhandene Ufereinfassung wird durch die Umnutzung zum „MicroPort“ zusätzlich durch den Umschlagverkehr sowie die kurzfristig gelagerten Container belastet. Der Umschlagverkehr ist definiert durch den Reachstacker, welcher zum Be- und Entladen dient, sowie die LKW, welche Container zum und vom Hafen transportieren. Die Container wurden seitens des Projektpartners Norddeutsche Wasserweg Logistik (NWL) als Standard 40 Fuß Container mit einem Maximalgewicht von 33t angegeben. Für eine detailliertere Betrachtung des Uferbauwerks sind genaue Angaben zu Verkehrswegen (getrennt nach LKW und Verladefahrzeug), Lagerflächen (inklusive Stapelhöhe der Container) und vorhandenen Spundwandprofilen, Verankerungen und Abmessungen (Bestandsstatik, Ausführungspläne) erforderlich. Die folgenden statischen Systeme beruhen auf Annahmen.

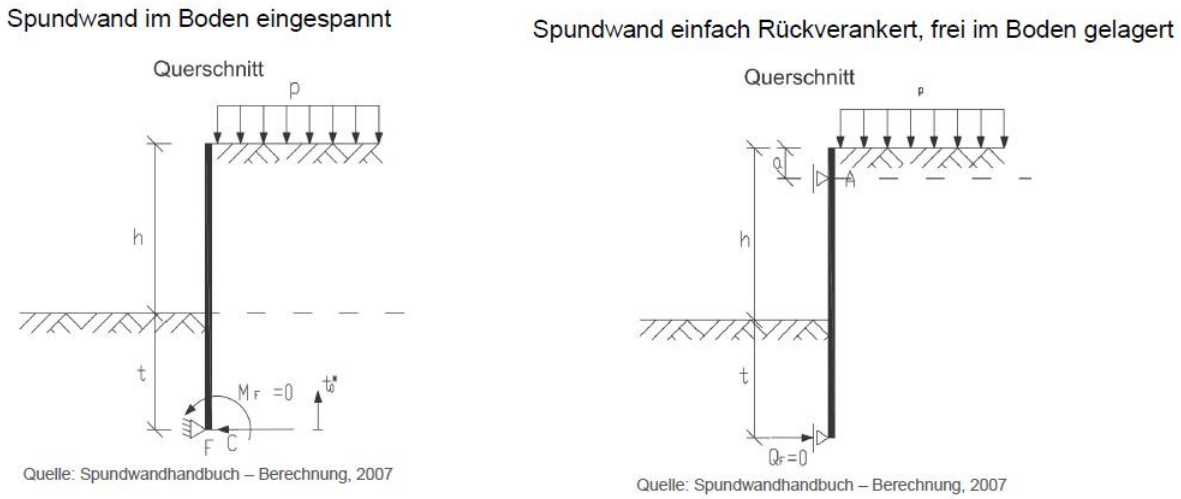


Abbildung 9: Mögliche statische Systeme für Spundwände

Die vorliegenden Bodenverhältnisse sind nicht bekannt. Auf alten Bildaufnahmen ist zu erkennen, dass an dem Hafengelände zu früheren Zeiten ein Hafenkran errichtet war. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass der Baugrund ausreichend tragfähig ist, um die Belastung aus dem Umschlagverkehr aufzunehmen. Die Rampe zur Verladung der Container auf die Schiene könnte zum Beispiel mit Winkelstützwänden aus Stahlbeton geplant werden. Diese können mit tragfähigem Boden zu hinterfüllt und mit einem Straßenaufbau versehen werden. Die angrenzenden Brückenbauwerke sind dahingehend zu überprüfen, ob die Belastung aus dem Güterverkehr aufgenommen werden kann. Gegebenenfalls können hier noch Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich werden.

Die angrenzende Straßenbrücke ist eine Stabbogenbrücke, welche als Hauptverkehrsweg zwischen linkem und rechtem Weserufer dient. Es ist zu überprüfen, ob die Straßenbrücke bereits für die Belastung aus Güterverkehr bemessen wurde. Vor 2003 war die DIN 1072 für die Lastannahmen von Straßenbrücken maßgebend. Die Norm hat Brücken in sogenannte „Brückenklassen“ unterteilt, welche verschiedene Radlasten und Aufstandsflächen berücksichtigen. Von 2003 bis 2010 war der DIN Fachbericht 101 für Lasten und Einwirkungen auf Brücken zur Bemessung maßgebend, welcher die Basis der in der DIN EN 1991 Teil 2 angegebenen Lastannahmen darstellt. Seit 2010 gilt die DIN EN 1991 Teil 2 für die Lastannahmen von Straßenbrücken. Für die Bemessung von Brücken wird seitdem standardmäßig das Lastmodell 1 vorgesehen, welches eine Belastung aus schwerem, internationalem Güterverkehr bereits vorsieht [13].

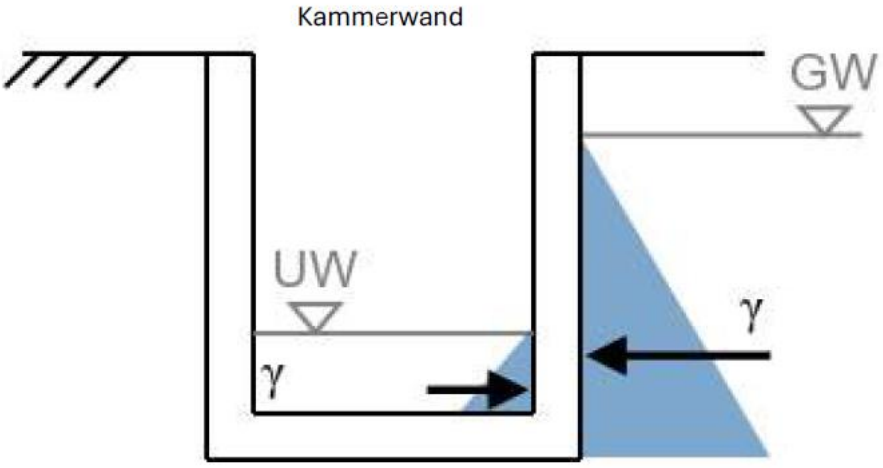
Die angrenzende Bahnbrücke ist ebenfalls eine Stabbogenbrücke und auch hier ist die Grenzbelastung zu überprüfen. Wie bei den Straßenbrücken war vor 2003 die DIN 1072 und vor 2010 der DIN Fachbericht 101 für die Lastannahmen von Bahnverkehr maßgebend. Seit 2010 gilt die DIN EN 1991 Teil 2 für die Lastannahmen von Bahnverkehr. Hierbei können im Wesentlichen drei verschiedene Lastmodelle herangezogen werden.

1. Lastmodell 71: Stellt die Einwirkungen aus Regelverkehr dar
2. Lastmodell SW/0: Stellt die Einwirkungen aus Regelverkehr auf Durchlaufträgerbrücken dar
3. Lastmodell SW/2: Stellt die Einwirkungen aus Schwerverkehr dar [13]

Das Lastmodell SW/0 kann in diesem Fall vernachlässigt werden. Auch die dynamische Beanspruchung im Hinblick auf die Ermüdung spielt bei Bahnbrücken eine nicht zu vernachlässigende Rolle und ist zu überprüfen [13].

Am Standort Drakenburg ist bereits eine Schleusenanlage mit Ufereinfassung und Pollern vorhanden. Die Ufereinfassung wurde mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die Beanspruchung resultierend aus Binnenschifffahrt bemessen. Aufschlüsse über Art und Bauweise der Ufereinfassung sowie bereits berücksichtigte Lasten könnten Bestandsunterlagen (Statik und Ausführungspläne) liefern. Diese liegen nicht vor, sodass in der weiteren Betrachtung sinnvolle Annahmen getroffen werden müssen. Die bestehende Ufereinfassung wird durch die Umnutzung zum „MicroPort“ zusätzlich durch den Umschlagverkehr sowie durch die kurzfristige Lagerung der Container belastet. Der Umschlagverkehr ist hier durch den Portalkran und den

Vollcontainer-Stapler, welche zum Be- und Entladen dienen, sowie den LKW-Verkehr gegeben. Auch in diesem Konzept wird von einem 40 Fuß Container mit einem Maximalgewicht von 33t ausgegangen. Für eine detailliertere Betrachtung des Uferbauwerks sind genaue Angaben zu Verkehrswegen, Lagerflächen (inklusive Stapelhöhe der Container) und vorhandenen Abmessungen der Kammerwand (Bestandsstatik, Ausführungspläne) erforderlich. Die folgenden statischen Systeme beruhen auf Annahmen.



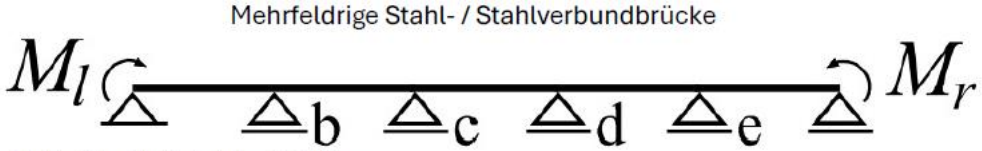
Quelle: Leibniz Universität Hannover, Ingenieurbauwerke im Wasserbau, 3. Nachweise im GZT, 2024

Abbildung 10: Statisches System Schleusenkammer

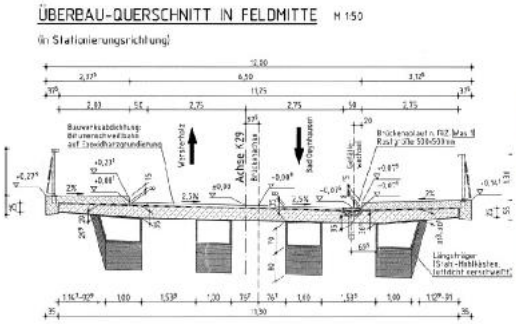
Als Kransystem kommen ein beidseitig gegründeter Kran, ein sogenannter Portalkran, oder ein einseitig gegründeter Kran, ein sogenannter Auslegerkran, in Betracht. Ein Portalkran muss auf beiden Seiten der Schleuse gegründet werden, liefert jedoch die Flexibilität auf beiden Seiten der Schleuse lagern und Verladen zu können. Der Portalkran kann stationär aufgestellt werden, oder durch sich durch Schienen oder Bereifung entlang der Schleuse bewegen. Ein Auslegerkran ist auf einer Seite der Schleuse zu gründen, wodurch weit im Voraus festzulegen ist auf welcher Seite der Schleuse sich der eigentliche MicroPort befindet. Bei beidseitiger Nutzung sind somit vermutlich zwei Auslegerkrane erforderlich. Auch der Auslegerkran kann stationär oder beweglich aufgestellt werden. Die Gründung des gewählten Krans kann gegebenenfalls auf der vorhandenen Kammerwand erfolgen, sofern diese die erforderlichen Abmessungen und Tragreserven aufweist. Ist dies nicht möglich, gibt es die Möglichkeit eine separate Gründung neben der Kammerwand herzustellen. Für eine stationäre Krananlage ist ein Einzelfundament ausreichend, bei einer beweglichen Krananlage sind Streifenfundamente/Grundbalken erforderlich. Es ist zu überprüfen, ob die Kammerwand die zusätzliche horizontale Belastung, welche aus der Lastausbreitung der Gründung resultiert, ohne weitere Maßnahmen aufnehmen kann. Ist dies nicht der Fall, empfiehlt es sich das Fundament bzw. die Grundbalken in Kombination mit einer Pfahlgründung herzustellen, um eine zusätzliche horizontale Belastung der Kammerwand durch den Kran zu vermeiden.

Am Standort Nienburg ist lediglich eine Straßenbrücke (Bundesstraße) mit Zweibahnigem Querschnitt vorhanden. Unterhalb der Brücke befinden sich an beiden Uferseiten befestigte

Flächen, das Ufer ist mit Wasserbausteinen befestigt. Das Ufer sowie die Widerlager der Brücke wurden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die Beanspruchung resultierend aus Binnenschifffahrt bemessen. Aufschlüsse über Art und Bauweise der Brücke sowie des Ufers, vor allem in Bezug auf bereits berücksichtigte Lasten, könnten Bestandsunterlagen (Statik und Ausführungspläne) liefern. Diese liegen nicht vor, sodass in der weiteren Betrachtung sinnvolle Annahmen getroffen werden müssen. Die bestehende Brückenkonstruktion wird durch die Umnutzung zum MicroPort zusätzlich durch die Belastung der Kranbahn und ggf. durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen durch den Umschlagsverkehr belastet. Der Umschlagverkehr ist hier durch den LKW-Verkehr gegeben. Die bestehende Uferbefestigung wird zusätzlich durch den Umschlagverkehr sowie durch die kurzfristige Lagerung der Container belastet. Hier ist der Umschlagverkehr durch den Vollcontainer-Stapler, welcher zum Be- und Entladen dient, sowie den LKW-Verkehr gegeben. Auch in diesem Konzept wird von einem 40 Fuß Container mit einem Maximalgewicht von 33t ausgegangen. Für eine detailliertere Betrachtung des Brückenbauwerks und der Uferbefestigung sind genaue Angaben zu Verkehrswegen, Lagerflächen (inklusive Stapelhöhe der Container) und vorhandenen Abmessungen der Brückenkonstruktion bzw. der Uferbefestigung (Bestandsstatik, Ausführungspläne) erforderlich. Die folgenden statischen Systeme beruhen auf Annahmen.



Quelle: Schneider Bautabellen, 25. Auflage



Quelle: Fritz Spieker GmbH & Co. KG, 2024

Quelle: Hofmann & Fackler GmbH, 2024

Abbildung 11: Statisches System Mehrfeldträger, Beispielquerschnitt Stahlverbundbrücke, Baustellenbild Stahlverbundbrücke

Bei der ersten Variante wird die Kranbahn am Brückenüberbau befestigt. Dies gewährleistet eine geringe Bauzeit, was lediglich eine kurze Versperrung der Wasserwege oder des Straßenverkehrs zur Folge hat. Der Brückenüberbau ist für die zusätzliche, ausmittige Belastung aus dem Eigengewicht der Kranbahn sowie der dynamischen Lasten aus den Verladevorgängen nachzuweisen. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass die aus der zusätzlichen Belastung entstehende Torsion für den Brückenquerschnitt Problematisch wird.

Für die zweite Variante wird die Kranbahn auf dem vorhandenen Brückenwiderlager gegründet. Dazu ist ein geeignetes Auflager für die Kranbahn zu schaffen, welches auf das vorhandene Brückenwiderlager abgesetzt wird und die Lasten über Kontaktpressung weiterleitet. Alternativ kann das Auflager seitlich an den Brückenpfeiler kraftschlüssig angeschlossen werden. Beide Optionen haben den Vorteil, dass die Belastung keine Torsion hervorruft. Lediglich der Brückenpfeiler und die Gründung müssen die zusätzlichen Lasten aufnehmen können.

Für die dritte Variante wird die Kranbahn separat gegründet. Das hat den Vorteil, dass die bestehende Konstruktion nicht zusätzlich belastet wird. Lediglich der Baugrund muss ausreichend Tragfähig sein, gegebenenfalls kann eine Tiefgründung (Pfahlgründung) erforderlich werden um die vorhandene Brückengründung durch die Lastausbreitung nicht zu beeinflussen.

Das Konzept 1 ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aus statisch-konstruktiver Sicht machbar. Der Aufwand für die Durchführung kann als gering eingeschätzt werden, ebenso wie die Herstellungskosten. Auch das Konzept 2 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit machbar, jedoch wird der Aufwand sowie die Herstellungskosten für die Durchführung der Maßnahme durch die erforderliche Installation eines Krans als mittel eingeschätzt. Das Konzept 3 ist vermutlich auch machbar, jedoch nur mit sehr hohem Aufwand und Herstellungskosten. Um konkrete Aussagen bezüglich der Umnutzung der Infrastrukturbauwerke aus statischer Sicht treffen zu können, fehlen viele wichtige Informationen. Dazu zählen statische Angaben zu den Bestandskonstruktionen wie Abmessungen, Profile und Materialien sowie eine Beurteilung des aktuellen Zustandes der Bestandskonstruktionen. Außerdem sind die Konzepte weiter auszuarbeiten im Hinblick auf die konkrete Nutzung des angrenzenden Geländes mit den geplanten Fahrtwegen und Verladezonen, den Verladesystemen und Kränen. Vor allem die Belastung aus Kränen ist stark Modellabhängig und ohne weitere Angaben nicht abzuschätzen. Aus statisch konstruktiver Sicht sind somit vermutlich alle drei Konzepte machbar. Sie unterscheiden sich wesentlich in den Punkten „Aufwand“ und „Herstellungskosten“. Bei zukünftigen Untersuchungen unter konkreten Bedingungen sollten Vorstatiken erstellt werden, auf deren Basis belastbare Aussagen über Machbarkeit, Aufwand und Herstellungskosten getroffen werden können.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde für die entwickelten Konzepte abschließend eine erste Bewertung durchgeführt (siehe

Tabelle 4).

Tabelle 4: Bewertung der Konzepte. + positive, o neutrale und – negative Bewertung in Bezug auf das Bewertungskriterium im Vergleich zwischen den Konzepten.

	Hoya	Drakenburg	Nienburg
Kosten	+	-	-
Genehmigung	o	-	-
Wirtschaftlicher Nutzen	+	+	+
Erwartete Akzeptanz	+	-	-

II.1.3 Arbeitspaket 3: System-Modellierung und –Simulation

In AP 3 erfolgte eine simulationsbasierte Bewertung der Eignung von MicroPorts für den Containerumschlag. Das Arbeitspaket wurde durch das BIBA geleitet. Wesentlicher Arbeitsinhalt des BIBA war die Erstellung des nachfolgend beschriebenen Simulationsmodells. Zudem wurden Simulationsexperimente durchgeführt, um das MicroPorts-Konzept im Hinblick auf ökonomische und ökologische Kenngrößen zu bewerten. Die Ergebnisse des Arbeitspakets sind nachfolgend dargestellt.

Durch MicroPorts sollen zusätzliche dezentrale Umschlagspunkte für den Containerumschlag zwischen landseitigen Transportmitteln (d. h. LKW und Bahn) und dem Binnenschiff bereitgestellt werden. Die zugrundeliegende Forschungshypothese besteht darin, dass durch zusätzliche Umschlagspunkte die Zu- und Abfahrtswege zu den Häfen reduziert werden können. Bei Transporten, die bereits heute über den Wasserweg erfolgen, sollen durch einen günstig gelegeneren Containerumschlag Transportkilometer gespart werden können. Diese Forschungshypothese wurden im Rahmen des AP 3 durch eine Simulationsstudie untersucht. Dabei wurde der in AP 1 ausgewählte Anwendungsfall zugrunde gelegt. Die erforderlichen Daten und Informationen wurden durch den Projektpartner NWL bereitgestellt. Dies beinhaltete bspw. Informationen über Zeiten (Umschlagsdauer, Fahrplan der Binnenschiffe), Kapazitäten der Transportmittel und Kosten (z.B. Kosten je Containerumschlag abhängig vom Hafen und dem Transportmittel). Zudem wurden praxisrelevante Kennzahlen für die Bewertung der Effizienz identifiziert. In gemeinsamen Workshops zwischen NWL und dem BIBA wurden die Einflussfaktoren beschrieben, die im Rahmen der Simulationsstudie untersucht werden sollen. Dies beinhaltete z.B. die Entfernung der Kundenstandorte zu den Umschlagshäfen, die Kapazitäten für den Binnenschifftransport oder das Gewicht der transportierten Container. Durch die gemeinsamen Workshops konnte sichergestellt werden, dass praxisrelevante Anforderungen und Fragestellung ausreichend bei der Bewertung des MicroPort-Konzepts berücksichtigt wurden.

Aufbauend auf den bereitgestellten Informationen wurde der Anwendungsfall wie nachfolgend beschrieben innerhalb eines ereignisdiskreten Simulationsmodells abgebildet. Für die Modellierung wurde die Software AnyLogic (Version 8.8.6) verwendet. Das Modell bildet den Transport von Containern von Bremerhaven in Richtung Minden ab. Container kommen im Seehafen in Bremerhaven an und müssen zu Kundenstandorten in Richtung Minden transportiert werden. Container können (1) komplett per LKW oder (2) per Binnenschiff bis zu einem zugeordneten Umschlagshafen und von dort per LKW bis zum Kunden transportiert werden. Per Binnenschiff transportierte Container können an den bestehenden Häfen in Bremen und Minden abgeladen werden. Beinhaltet die Simulation einen zusätzlichen MicroPort (für die Simulationsstudie wurde der Standort Nienburg gewählt), ist auch ein Entladen am MicroPort möglich. Um die Umschlagspunkte in Bremen, Nienburg und Minden werden jeweils 25 Kundenstandorte innerhalb eines festgelegten Radius um die Umschlagshäfen erzeugt. Jedem Kundenstandstandort ist der nächstgelegene Hafen als Umschlagshafen zugeordnet. Bei Szenarien ohne einen MicroPort werden die Kundenstandorte um den MicroPort dem nächstgelegenen Hafen (d. h. Bremen oder Minden) zugeordnet. Abbildung 12 zeigt die ausgewählte Strecke von Bremerhaven bis Minden, den Seehafen Bremerhaven sowie die Häfen in Bremen und Minden (gelb), den optionalen MicroPort in Nienburg (grün) sowie exemplarisch für einen Simulationslauf die erstellten Kundenstandorte mit einem Radius von 15 km um die Umschlagspunkte (rot).

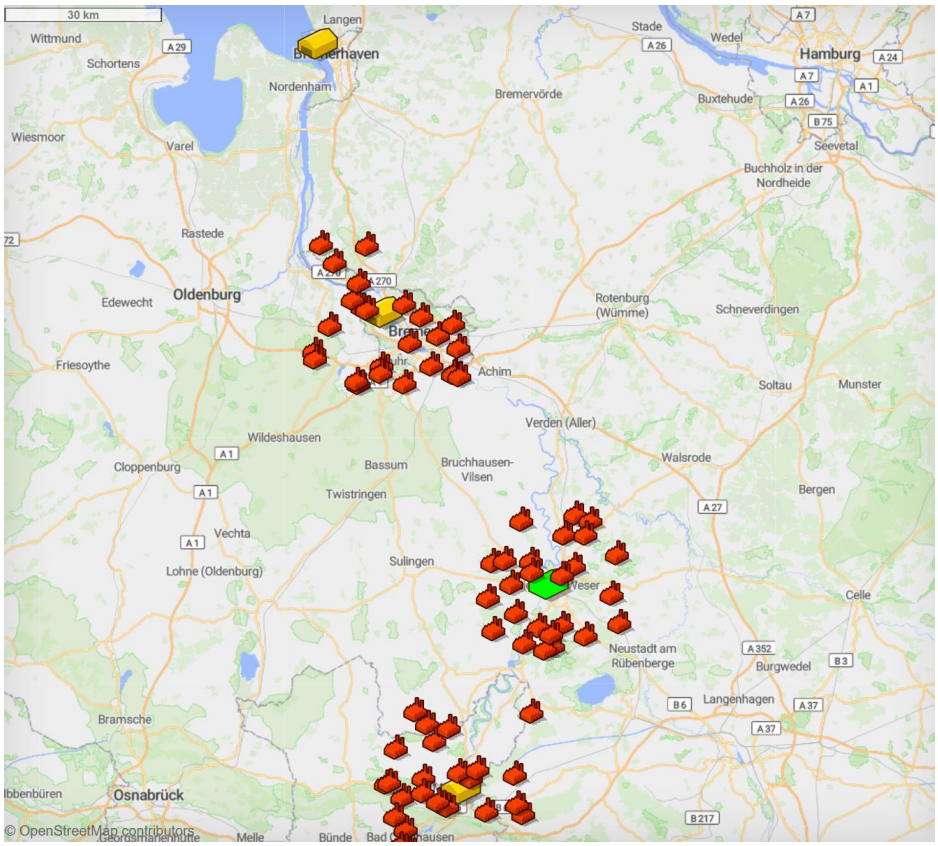


Abbildung 12: Oberfläche des Simulationsmodells mit Umschlagspunkten und Kundenstandorten

Durch die Simulationsstudie sollte der Einfluss eines MicroPorts auf ökonomische und ökologische Zielgrößen untersucht werden. Aus ökonomischer Sicht wurden als Bewertungskriterien die Transportkilometer und damit verbunden die Lieferzeit und die Lieferkosten herangezogen. Die Transportkilometer ergeben sich aus der Summe der gefahrenen Kilometer eines Containers per Binnenschiff und LKW. Die Lieferzeit umfasst die Zeitspanne zwischen der Ankunft eines Containers in Bremerhaven und dem Zeitpunkt der Auslieferung am Zielort. Die Lieferkosten umfassen die Kosten für die Umschlagsvorgänge, d. h. das Be- und Entladen eines Containers sowie die Transportkosten. Die Umschlagskosten in Bremerhaven sind nicht berücksichtigt, da diese üblicherweise bereits in den Terminalhandlingkosten (THC) enthalten sind. Die verwendeten Kostensätze basieren auf Angaben des Industriepartners und wurden aus Gründen der Vertraulichkeit nachfolgend nicht absolut angegeben. Die ökologische Bewertung erfolgte anhand der auf den Transport eines Containers bezogenen CO2eq.-Emissionen. Hierfür wurden die Abschnitte Transport per LKW, Transport per Binnenschiff (falls vorhanden) und Umschlagsprozesse kalkuliert.

Die nachfolgend dargestellten Simulationsergebnisse basieren auf den folgenden Einstellungen. Das Binnenschiff hat eine Kapazität von 60 TEU (entspricht 30 Containern) und fährt einmal täglich die dargestellte Strecke von Bremerhaven nach Minden. Die Geschwindigkeit beträgt 15 km/h, das Laden bzw. Löschen eines Containers dauert jeweils drei Minuten. LKW werden im Mittel eine Stunde nach Auftreten des Bedarfs bereitgestellt und transportieren jeweils einen Container. Die LKW fahren mit einer Geschwindigkeit von 88 km/h, das Be- und Entladen eines Containers dauert ebenfalls drei Minuten. Der Simulationszeitraum umfasst vier Wochen.

Die Simulationsstudie vergleicht Szenarien jeweils mit und ohne einen zusätzlichen MicroPort. Variiert wurden der Radius für die Platzierung der Kundenstandorte (15, 30, 50 km) sowie der Anteil der Container, die von Bremerhaven aus per Binnenschiff transportiert werden (50, 75, 100 Prozent). Für jedes Szenario wurden 10 Replikationen durchgeführt. Insgesamt wurden für die Simulationsstudie damit 180 Simulationsläufe (2x3x3x10) durchgeführt.

Abbildung 13 zeigt einen Vergleich des Containertransports mit und ohne den zusätzlichen MicroPort in Nienburg. Die Kundenstandorte befinden sich in diesem Szenario innerhalb eines Radius von 15 km um die Umschlagshäfen, 50 % der Container werden kombiniert per Binnenschiff und LKW (für den Transport vom Umschlagshafen bis zum Kunden) transportiert, die anderen 50 % der Container werden komplett mit dem LKW von Bremerhaven bis zum Kunden transportiert.

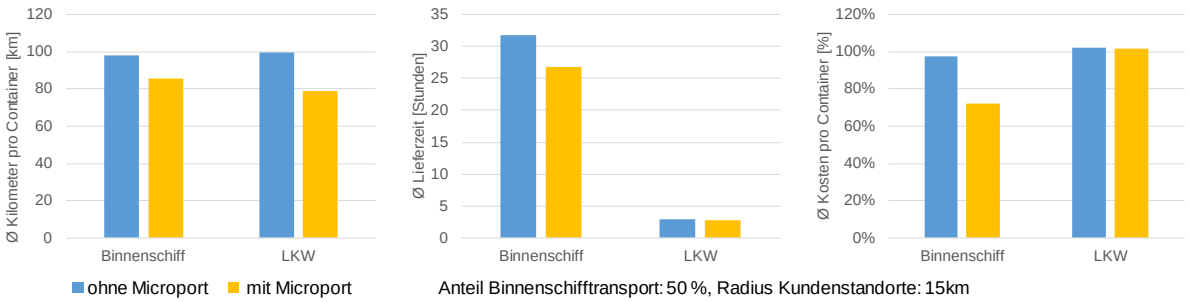


Abbildung 13: Zielerreichung mit vs. ohne MicroPort

In Abbildung 13 (links) ist die Anzahl der Kilometer abgebildet, die ein Container im Durchschnitt per LKW und per Binnenschiff transportiert wird. Bei der Nutzung eines MicroPorts sinkt die Gesamtanzahl der Transportkilometer (LKW plus Binnenschiff) deutlich (165 km mit vs. 198 km ohne MicroPort). Dies liegt daran, dass Container bei einem Binnenschifftransport näher am Zielort entladen werden und dadurch sowohl Transportkilometer per Binnenschiff als auch per LKW eingespart werden können. Im Hinblick auf die Lieferzeit (Abbildung 13 mittig) ist der reine LKW-Transport mit einer Lieferzeit von durchschnittlich 3 Stunden dem Binnenschiff klar überlegen. Die längere Lieferzeit des Binnenschiffs erklärt sich dadurch, dass das Binnenschiff nicht bedarfsorientiert abfährt sondern an feste Abfahrzeiten gebunden ist. Im Extremfall muss ein Container damit nach der Ankunft in Bremerhaven knapp einen Tag auf den Weitertransport warten, während LKW im Mittel eine Stunde nach Ankunft des Containers bereitgestellt werden. Aufgrund der geringeren Transportkilometer verringert sich durch den MicroPort auch die Lieferzeit bei einem Transport per Binnenschiff. Die Kosten für den Transport (Abbildung 13 rechts) sind im Szenario ohne MicroPort für beide Transportmodi vergleichbar. Bei der Nutzung eines zusätzlichen MicroPorts können die Kosten beim Transport per Binnenschiff deutlich reduziert werden.

Abbildung 14 zeigt exemplarisch für das Szenario ohne MicroPort den Einfluss der Transportkapazitäten auf die Lieferzeiten auf. Bei der zugrunde gelegten Transportkapazität des Binnenschiffs können pro Tag 30 Containern geladen und transportiert werden. Ein Transportanteil von 50 % für das Binnenschiff bedeutet, dass im Mittel 25 Container pro Tag für den Transport per Binnenschiff bereitgestellt werden und eine Balance zwischen Transportbedarf und bereitgestellter Transportkapazität besteht. Werden mehr Container per Binnenschiff transportiert, führt dies aufgrund der zu geringen Transportkapazität zu einer Aufstauung der Container und zu stark ansteigenden und in der praktischen Umsetzung nicht realisierbaren Wartezeiten.

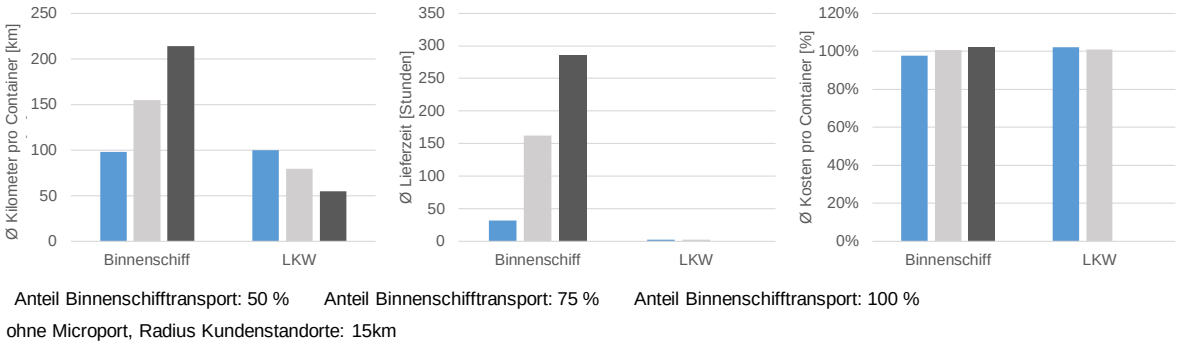


Abbildung 14: Einfluss der Transportkapazitäten auf die Zielerreichung

Ein wesentlicher Einflussfaktor sowohl auf die Lieferzeit als auch die Lieferkosten ist die Distanz der Kundenstandorte zu den Umschlagshäfen. Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse mit und ohne MicroPort in Abhängigkeit des Radius, innerhalb dessen die Kundenstandorte erstellt werden. Bei dem Szenario ohne MicroPorts nehmen bei einem Transport per Binnenschiff sowohl die Lieferzeit als auch die Lieferkosten bei einem zunehmenden Abstand der Kunden zum MicroPort ab. Dies liegt daran, dass bei einem zunehmenden Abstand der Kunden zum (in diesem Szenario nicht vorhandenen) MicroPort gleichzeitig die Distanz zu einem der bestehenden Umschlagshäfen in Bremen oder Minden sinkt und dadurch die Transportkilometer reduziert werden. Bei dem Szenario mit MicroPort ist die Entwicklung dagegen gegenteilig. Mit einem zunehmenden Abstand der Kunden zum MicroPort nehmen die Lieferzeit und die Lieferkosten zu. In dem vorgestellten Szenario sinkt das Einsparpotenzial durch den MicroPort damit deutlich bei einer zunehmenden Distanz der Kunden zu den Umschlagspunkten.

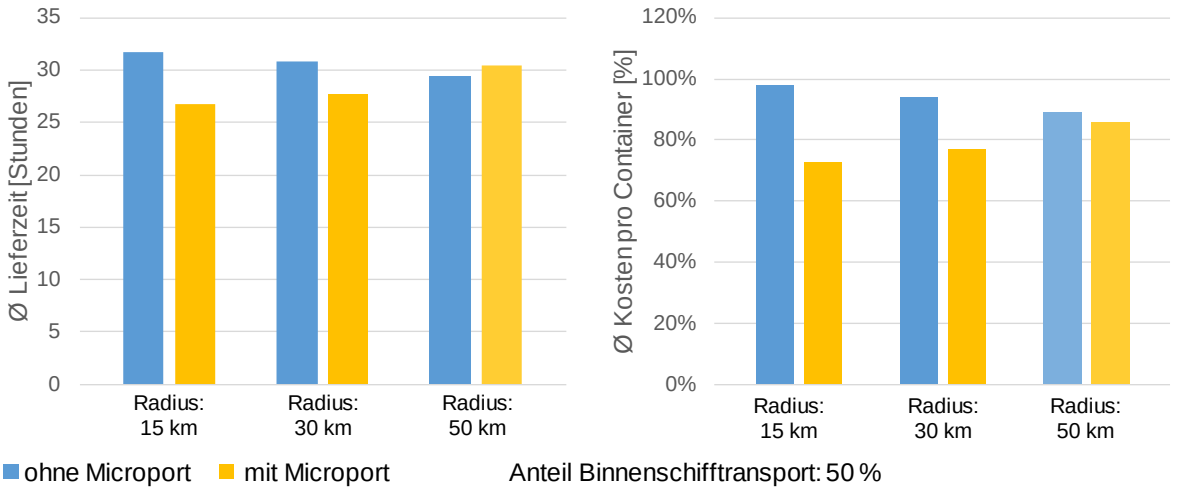


Abbildung 15: Einfluss der Distanz der Kundenstandorte zum MicroPort

Zur Berechnung der entstehenden Emissionen wurden die Ergebnisse aus der Simulationsstudie in die Umberto-Software überführt (Abbildung 16). Diese Software ermöglicht die

Erstellung von Ökobilanzen, deren Ergebnisse jeweils in Bezug auf eine sog. Funktionelle Einheit dargestellt werden. In diesem Fall ist dies die Dienstleistung *Transport eines Containers*. Als Evaluationsmethode wurde ReCiPe (2016) gewählt.

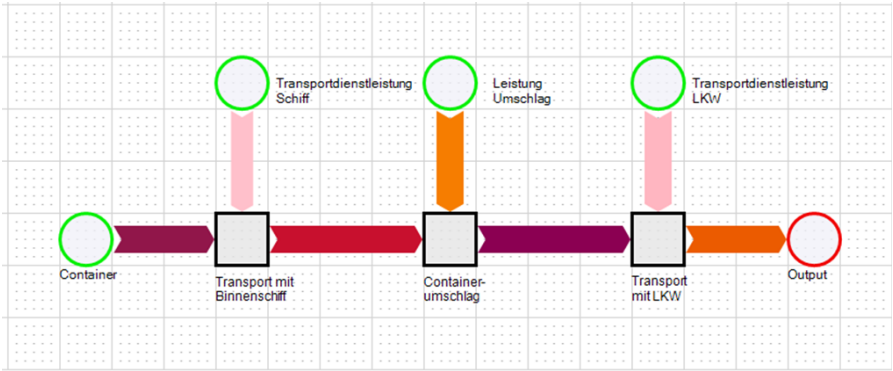


Abbildung 16: Oberfläche der Ökobilanzierungsberechnung

Abbildung 17 zeigt die vergleichende Gegenüberstellung der CO_2eq.-Emissionen für Szenarien mit und ohne MicroPort. Durch den MicroPort können demnach deutliche Einsparungen erzielt werden.

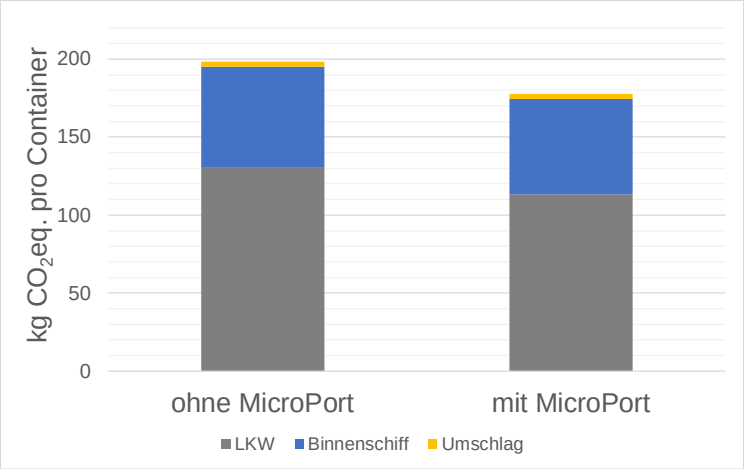


Abbildung 17: Übersicht CO_2eq.-Emissionen

In Abbildung 18 sind die CO_2eq.-Emissionen für Szenarien mit MicroPorts in Abhängigkeit der Distanz der Kunden zum MicroPort und dem Anteil der Container, die per Binnenschiff transportiert werden, dargestellt. Mit steigendem Anteil der mittels Binnenschiff transportierten Container sinken die jeweils entstehenden CO_2eq.-Emissionen. Bei der Nutzung eines MicroPorts müssen die Container einmal mehr umgeschlagen werden, als es bei einem reinen Straßentransport notwendig ist. Daher erhöhen sich in diesen Szenarien die umschlagsbezogenen Emissionen, machen jedoch im Gesamtkontext nur einen geringen Anteil aus. Ebenso sind die Emissionen geringer, je näher die Kundenstandorte um den MicroPort platziert werden. Die sinkenden Gesamtemissionswerte erklären sich dadurch, dass das Binnenschiff pro Tonnenkilometer (tkm) weniger Emissionen erzeugt als ein LKW. Ein größerer Streckenanteil, der mittels Binnenschiff zurückgelegt wird, bedeutet somit eine Reduzierung des LKW-

Streckenanteils und daher auch eine Reduzierung der Gesamtemissionen. Es zeigt sich jedoch auch, dass die Nutzung von MicroPorts die geringsten Umweltwirkungen erzeugt, wenn sich die Kunden in einem engen Umkreis um diesen Umschlagspunkt befinden. Mit größer werdender Entfernung vom MicroPort muss mehr Strecke per LKW zurückgelegt werden, was den emissionsbezogenen Vorteil des Binnenschiffs reduziert.

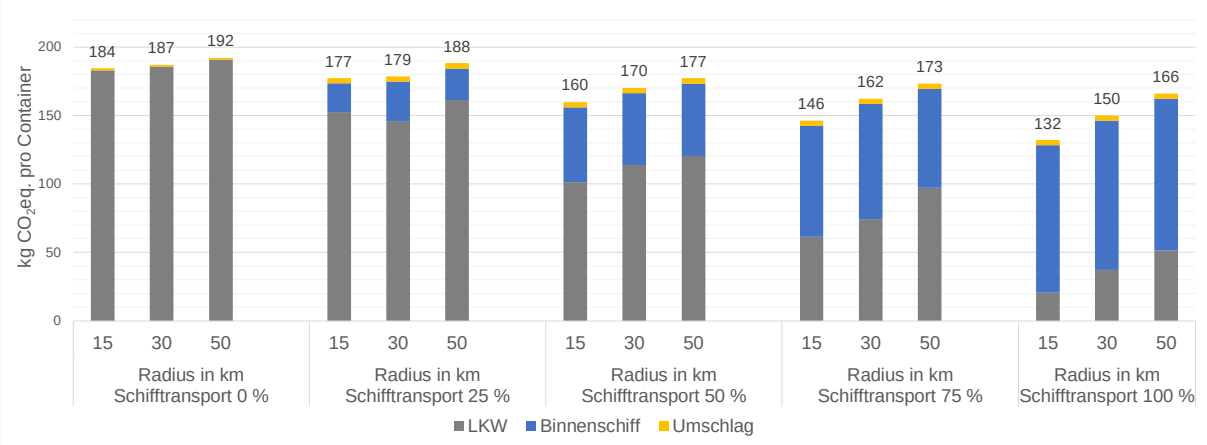


Abbildung 18: CO_2eq.-Emissionen mit MicroPort abhängig von Kundenstandort und dem per Binnenschiff transportierten Containeranteil

Zusammenfassend können aus der Simulationsstudie die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Durch einen MicroPort können die Gesamtkosten für den Transport reduziert werden.
- Der LKW-Transport ist vor allem bei kurzfristigen oder zeitkritischen Lieferungen im Vorteil.
- Der kombinierte Transport per Binnenschiff ist günstiger als der reine LKW-Transport (die Einsparung hängt von den getroffenen Annahmen ab).
- Um wettbewerbsfähige Lieferzeiten zu realisieren müssen ausreichende Binnenschiff-Kapazitäten bereitgestellt werden.
- Potenzielle Kunden sollten möglichst nah am MicroPort liegen. Ansonsten sinkt die Einsparung aufgrund konkurrierender Umschlagshäfen.
- Die Nutzung eines MicroPorts senkt in jedem Fall die CO_2eq.-Emissionen.
- Perspektivisch müssen auch Emissionen, die durch das Errichten eines MicroPorts entstehen auf die Container umgelegt werden.

II.1.4 Arbeitspaket 4: Betriebsmodell, Wirtschaftlichkeits- und Umweltwirkungsanalyse

Das Arbeitspaket 4 wurde durch den Projektpartner NWL geleitet. Das BIBA war schwerpunktmäßig an der Ableitung von Maßnahmen für die Einbindung von MicroPorts in

Logistiknetzwerke beteiligt und NWL zudem bei der Entwicklung der Betriebsmodelle unterstützt. Die Ergebnisse des Arbeitspakets sind nachfolgend dargestellt.

Einbindung in Logistiknetzwerke

Im Rahmen des Projektes wurde das MicroPorts-Konzept entwickelt und für einen konkreten Anwendungsfall untersucht. Damit eine zukünftige Einbindung dieses Konzepts in bestehende logistische Netzwerke erfolgen kann, sind unterschiedliche Maßnahmen erforderlich. Grundsätzlich lässt sich der Prozess mit der folgenden Abbildung 19 beschreiben:

Abbildung 19: Prozess der MicroPorts-Konzepteinbindung in bestehende logistische Netzwerke

Zu Beginn des Prozesses stehen die in diesem Projekt entwickelten Vorgehen zur Kunden- und Standortanalyse. Während sich die Machbarkeitsstudie vieler Annahmen bedient, müssten bei einer Umsetzung konkreten Kundendaten, wie bspw. reale Nachfragen oder Containergewichte, eingeholt werden. Die entwickelte Standortanalyse (vgl. AP 1) eignet sich bereits sehr gut für eine erste Sondierung möglicher Umschlagspunkte. Die ausführliche Prüfung der konkreten Eignung der Standorte erfolgt im anschließenden zweiten Schritt. Hierzu zählen dabei u.a. erste statische Betrachtungen, ob ausgewählte Flächen oder Bauwerke überhaupt den wahrscheinlichen Lasten standhalten können. Die im Rahmen des Projektunterauftrags erstellte Bewertung (vgl. AP 2) gibt bereits einen Einblick, wie umfangreich diese Prüfung sein kann. Zur Eignungsprüfung gehört jedoch auch die Entwicklung der Betreibermodelle und Leistungsbeschreibungen, die bspw. über eine Simulation betrachtet werden können. Als nomineller dritter Schritt erfolgt dann die Einholung sämtlicher Genehmigungen, wobei dieser Prozess teilweise parallel zur Eignungsprüfung durchgeführt werden kann. Die durchgeführte Stakeholderanalyse (vgl. AP 1) hat die Vielzahl der Akteure eindrucksvoll aufgezeigt, sodass dieser Schritt in seiner Komplexität auf keinen Fall unterschätzt werden darf. Berücksichtigt werden muss dabei auch, dass sich die Stakeholder je nach Errichtungsort unterscheiden können. Abgeschlossen wird der Prozess mit dem eigentlichen Bau und der Inbetriebnahme des MicroPorts.

Damit die Flexibilität von MicroPorts zum Tragen kommen kann, müsste für diese eine eigene Definition gefunden werden, damit sie nicht unter Hafenanlagen fallen und somit einer Vielzahl von Auflagen unterliegen würden, die im Konkreten nicht zutreffend wären. Einhergehend mit

dieser eigenen Definition müssten auch Genehmigungsprozesse vereinfacht und vereinheitlicht werden. Dies betrifft z.B. die folgenden Punkte:

- Flächenumnutzung
- Temporäre Nutzung (schnelle Abwicklung kurzfristiger Genehmigungen für Projektladungen z.B. nach Stürmen Holztransport, Errichtung Windparkanlagen etc.)
- Möglichkeit für anlassbezogene Ausnahmeregelungen unter Auflagen von bestimmten Vorgaben (z.B. kein Industriegebiet, Naturschutzgebiete ...)
- Zuständigkeit muss bundesländerübergreifend geklärt sein

Damit überhaupt eine realistische Chance der Umsetzung in einem größeren Rahmen denkbar ist, müssen sich darüber hinaus u.a. folgende Punkte ändern:

- Dokumentation von bestehender Infrastruktur muss digitalisiert und vervollständigt werden und einfacher verfügbar sein
- Bei Sanierung und beim Bau zukünftiger Infrastruktur muss eine Mehrfachnutzung direkt mitgedacht werden

Neben diesen veränderten Prozessen mit Blick auf Verwaltung, Genehmigung und Dokumentation müssen Wirtschaft und Politik jedoch auch weiter die Attraktivität der Binnenschifffahrt stärken. Nur eine entsprechende Auslastung der Wasserwege ebnet den Weg für neue Konzepte wie das in diesem Projekt entwickelte. Darüber hinaus kann eine Realisierung des MicroPorts-Konzepts durch die Erweiterung der Anwendungsfälle auf bspw. Pakete, Projekt- oder Schüttgut erfolgen.

Betriebsmodelle

Die zentrale Dienstleistung eines MicroPorts ist der Umschlag von Containern zwischen mindestens zwei Modalitäten. Dies stellt somit die einzige Mindestanforderung an ein mögliches Betriebsmodell dar. Darüber hinaus sind viele unterschiedliche Möglichkeiten denkbar, welche Services für die Stakeholder im Rahmen eines MicroPorts angeboten werden können oder müssen, damit ein größerer Mehrwert geschaffen werden kann. Basierend auf den Prozessen auf den von NWL betriebenen Binnenschiffen wurden in Workshops mögliche Services identifiziert und in einem ersten Schritt in drei Kategorien eingeteilt, die in der folgenden Abbildung 20 sind.

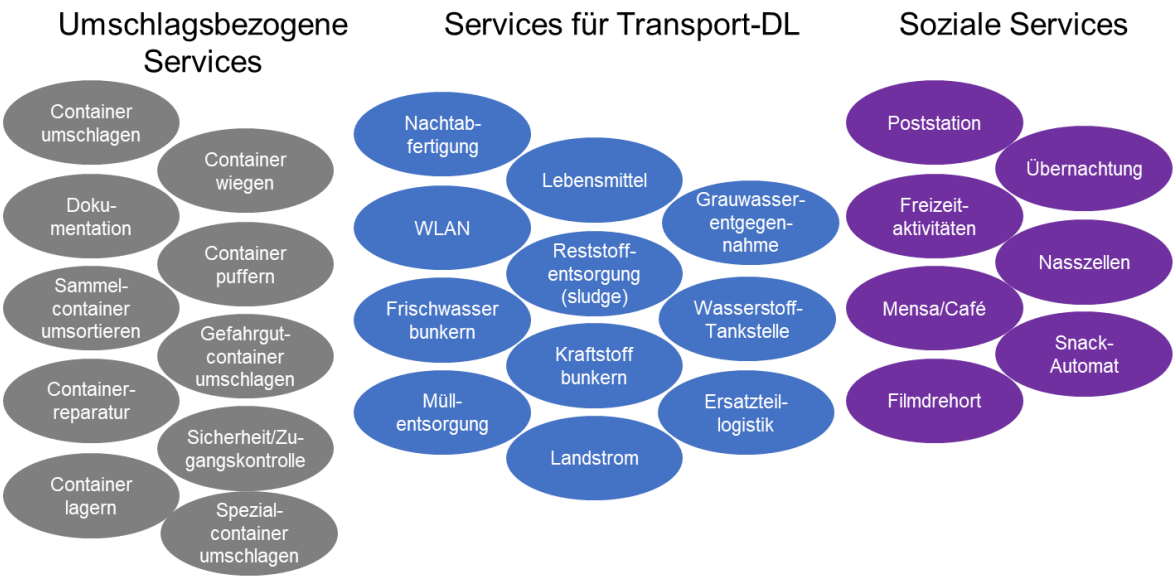


Abbildung 20: Kategorisierung möglicher Services im Kontext von Betriebsmodelle

Diese erste Sammlung von möglichen Angeboten wurde anschließend auf ihre Tauglichkeit aus unterschiedlichen Perspektiven hin gekürzt. Hier wurden sowohl ein mögliches Interesse von Kunden, als auch wirtschaftliche oder platztechnische Perspektiven berücksichtigt, sodass als Ergebnis elementare Kernservices, leicht umsetzbare Services und solche, deren Umsetzung als prüfenswert beurteilt wurden, übrigblieben. Zu den zentralen Kernservices wurden hierbei der Umschlag von Standardcontainern, die damit verbundene Dokumentation, das (kurzzeitige) Puffern von Containern, die Sicherheits-/Zugangskontrolle und das Wiegen von Containern gezählt. Unabhängig von der konkreten Größe des MicroPorts oder den eingebundenen Modalitäten sollte dies das Mindestangebot sein, damit die MicroPorts für Kunden eine attraktive Ergänzung zu bestehenden Binnenhäfen sein können. Als relativ leicht umzusetzenden Services wurden die Themen Landstrom, Ersatzteillogistik, Poststation und Snack-Automaten kategorisiert. Die leichte Umsetzung bezieht sich dabei nicht zwingend auf die einzelnen Services (z.B. Landstrom, da dies mit erheblichen Baumaßnehmen verbunden sein kann), sondern vielmehr darauf, dass es sich um bekannte und bereits vielfach angebotene Services handelt, die keine unbekannten Genehmigungsverfahren als Begleiterscheinungen haben. Als prüfungswürdig wurden hauptsächlich die unterschiedlichen Entsorgungsdienstleistungen und das Bunkern von Flüssigkeiten zusammengetragen.

Als Zwischenfazit wurde dabei festgehalten, dass viele Services möglich sind und auch einen Mehrwert bringen, jedoch sorgen die geplant geringe Aufenthaltsdauer von Binnenschiffen bei MicroPorts, das geringe Platzangebot und die damit verbundenen (Personal-)Kosten dafür, dass es zwingend eine Einzelfallprüfung geben muss, was sich Kunden wünschen und auch bezahlen wollen, damit sich ein entsprechendes Angebot für alle Beteiligten lohnt.

Neben den konkreten Dienstleistungen und Services, die im Kontext eines MicroPorts angeboten werden können, wurden auch unterschiedliche Betriebsszenarien entwickelt, die auf die folgenden drei Varianten zusammengefasst wurden:

- **Betrieb als eigenständige Infrastruktur:** In diesem Rahmen würde der MicroPort als eigener Betrieb gesehen, wie es andere kommerzielle (Binnen-)Häfen sind. Im Zentrum stünde die Dienstleistung des Containerumschlags und der damit direkt verbundenen Services.
- **Betrieb durch ein Unternehmen mit eigener Schiff-/Fahrzeugflotte:** Ein weiterer Ansatz könnte der sein, dass bspw. eine Spedition ihr (Umschlags-)Angebot erweitert und den multimodalen Umschlag für die eigenen Kunden übernimmt. Der Transport zu Wasser und über Land würde weiterhin über die bereits vorhandenen Flotten erfolgen.
- **Betrieb über ein angegliedertes Unternehmen:** Als Erweiterung zum zweiten Ansatz, könnte der MicroPort auch in einem größeren Kontext an vorhandene Infrastrukturen angegliedert werden. So könnte bspw. ein Warehouse-Betreiber zur Einsparung von Transportwegen und -kosten entsprechende Umschlagsmöglichkeiten schaffen und eigene, vorhandene Infrastrukturen nutzen um das Dienstleistungsangebot für potentiell neue Kunden zu erweitern.

Wirtschaftlichkeits- und Umweltwirkungsanalyse

Wie bereits in AP 3 dargestellt, wurden die wirtschaftlichen und umweltwirkungsbezogenen Berechnungen mittels Modellierungen und Simulationen durchgeführt. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde festgelegt, dass die beiden KPIs *Kosten in Euro pro Container* und *CO_2eq.-Emissionen pro Container* Grundlage der Bewertung unterschiedlicher Konzepte sein sollen. Eine ausführliche Beschreibung der Simulationsergebnisse ist in AP 3 zu finden.

II.1.5 Arbeitspaket 5: Demonstrator, Öffentlichkeitsarbeit und Projektmanagement

Inhalte des AP 5 waren die Demonstratorentwicklung, die Öffentlichkeitsarbeit und das Projektmanagement. Das Arbeitspaket wurde durch das BIBA geleitet. Inhaltlicher Schwerpunkt des BIBA war die Entwicklung eines AR-/VR-Demonstrators. Organisatorisch hat das BIBA die Gesamtprojektleitung übernommen und im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit u.a. wissenschaftliche Publikationen erstellt und auf Fachkonferenzen vorgestellt. Die Ergebnisse des AP sind nachfolgend dargestellt.

Demonstrator

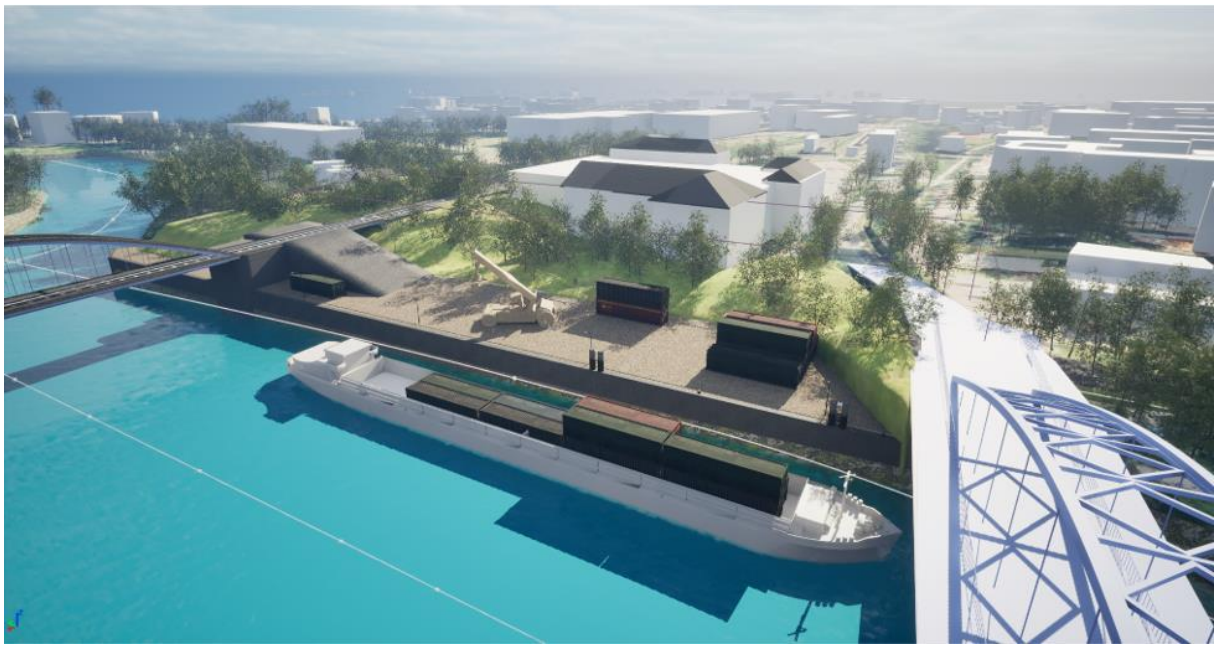


Abbildung 21: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine

In AP 5 wurde für den Demonstrator als erstes eine Analyse bezüglich der benötigten 3D-Modelle durchgeführt und es wurden erste Überlegungen bezüglich der Umsetzung sowohl nach AR als auch nach VR gemacht. Ebenfalls wurde ein Bachelor-Lehrprojekt durchgeführt, welches sich mit der 3D-Modellierung fiktiver Szenarien auseinandersetzte und diese in einer einfachen AR-Anwendung visualisiert hat. Weiterhin wurden Schritte bezüglich der Geolokalisierung eingeleitet. Hierbei wurden Möglichkeiten bezüglich der 3D-Generierung von echten Landschaftsdaten erörtert und getestet. Schließlich wurde eine Recherche bezüglich der benötigten Hardware für die AR- und VR-Systeme durchgeführt.

Im weiteren Verlauf wurde aufbauend auf den Konzepten und den ausgewählten Standorten eine Entwicklung der realen Umgebung in eine 3D-Welt durchgeführt. Hierfür wurde auf die bei den Vor-Ort-Begehungen aufgenommen Fotos zurückgegriffen und es wurden Nachbildungen der realen Gebäude erstellt. Zusätzlich wurde ein 3D-Geländemodell entwickelt, damit die Modelle positions- und höhengetreu eingefügt werden konnten. Neben der Entwicklung der 3D-Modelle wurden die 3D-Engines Unity und Unreal verglichen. Aufgrund der überzeugenderen Grafik und des besseren Plug-and-Play-Systems wurde die Unreal Engine ausgewählt, sowie in ersten Tests die VR-Brille angeschlossen. In der Engine wurde parallel zu der Erstellung der 3D-Modellen, die Wassersimulation aufgesetzt und eine Animation, wie die von einem Binnenschiff mit vereinfachtem An- und Ablegemanöver, entwickelt. Zusätzlich wurde die Schiffsanimation immer wieder analysiert und angepasst, um eine realistische Animation zu erreichen.

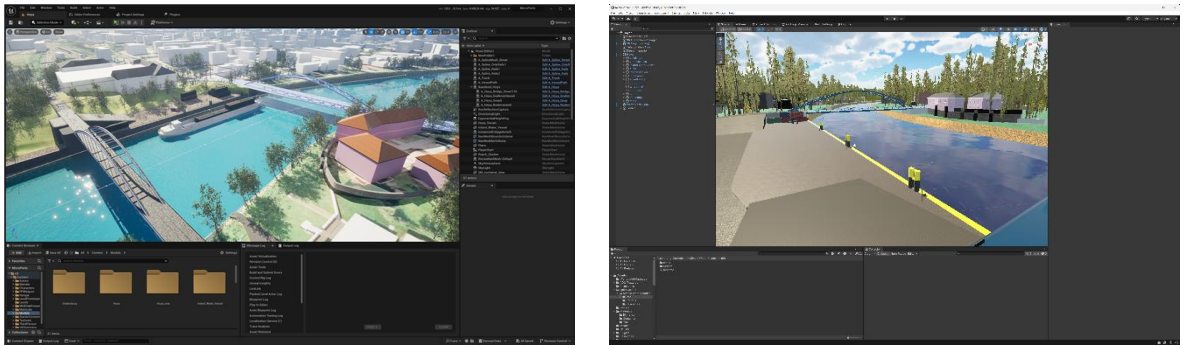


Abbildung 22: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine (links) und Unitiy3D (rechts)

Der AR-Demonstrator wurde für Vor-Ort-Begehungen konzipiert, allerdings stellte sich im Laufe der Entwicklung heraus, dass die Verortung nicht besonders genau ist im aktuellen Stand der Technik und für die verschiedenen Vorstellungen, zum Beispiel beim Konsortial- und Anschlusstreffen, diese Variante nicht besonders sinnvoll ist. Deswegen wurde der AR-Demonstrator angepasst, damit man die 3D-Modelle auch in solchen Situationen begutachten kann. Die Anwendung wurde in Unity entwickelt und auf Android Tablets installiert.

Abbildung 23: AR-Ansicht für die Standorte Drakenburg (links), Hoya (mittig) und Nienburg (rechts)

Der VR-Demonstrator wurde zum Schluss ebenfalls in Unity entwickelt, da ein Export für die VR-Brille in Unreal Probleme aufwies und nicht mobil genutzt werden konnte. Für eine stationäre Anwendung mit einem Datenstream zu einem leistungsfähigen Computer gab es keine Probleme in Unreal, da aber mehrere Brillen gleichzeitig und an verschiedenen Orten genutzt werden sollte, war die Entwicklung in Unreal nicht mehr möglich. Daraufhin wurde das ganze Projekt nochmals in Unity angelegt, dessen Export zu Android, dem Betriebssystem der VR-Brillen, unproblematisch ablief und die Einbindung der 3D-Modelle ebenfalls optimaler vonstattenging. Dieser Wechsel in der 3D-Engine und zur Stand-Alone-Anwendung hat allerdings dazu geführt, dass die Grafik abgenommen hatte und ein etwas anderes Ergebnis erzielte, als anfänglich erwartet.

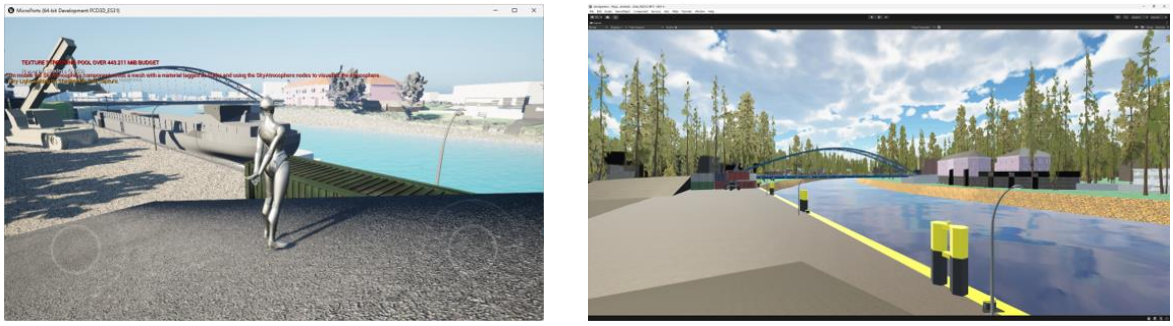


Abbildung 24: Demonstratormodell des Standorts Hoya in Unreal Engine in der mobilen Ansicht (links) und in Unity3D in der mobilen Ansicht (rechts)

Öffentlichkeitsarbeit und Projektmanagement

Für die Öffentlichkeitsarbeit wurden Projektflyer erstellt und das Projekt wurde auf der Webseite der Universität und des Instituts vorgestellt. Des Weiteren wurde eine Projektwebseite online gestellt, die über die Inhalte des Projekts berichtet (https://www.microports.de/). Zudem wurden zwei wissenschaftliche Publikationen zum Gesamtkonzept und der simulationsbasierten Bewertung erstellt und auf Fachkonferenzen vorgestellt. Das Projekt wurde bei einem Besuch des BMDV am BIBA im Juni 2023 vorgestellt. Im Rahmen des Projekts erfolgte außerdem eine Teilnahme an der IHATEC-Fachkonferenz „Neue Technologien und Testfelder für Wasserstraßen und Häfen" im Juni 2023. Der Projektpartner NWL hat das Projekt unter anderem 2024 bei einem Besuch von Bremenports (https://www.bremenports.de/) bei NWL vorgestellt. Zudem ist für das 2025 eine Teilnahme am Gesprächskreis Binnenschifffahrt geplant.

Im Rahmen des Projektmanagements erfolgte die kontinuierliche Abstimmung der Projektarbeiten zwischen den Projektpartnern und Unterauftragnehmern sowie die Überwachung des Projektfortschritts und der terminlichen Einhaltung des Arbeitsplans. Das Projekt konnte innerhalb der geplanten Laufzeit von 24 Monaten erfolgreich abgeschlossen werden.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das BIBA hatte in den folgenden Positionen Mittel beantragt

- 0812 Beschäftigte TVöd/TV-L E12-E15 (wissenschaftliche Mitarbeiter*innen)
- 0822 Beschäftigungsentgelte (studentische Mitarbeiter*innen)
- 0831 Gegenstände bis zu € 800 im Einzelfall
- 0835 Vergabe von Aufträgen
- 0843 Sachausgaben
- 0846 Dienstreisen
- 0850 Gegenstände und andere Investitionen über 410 im Einzelfall.

Auf die wichtigsten Positionen soll im Folgenden eingegangen werden.

Die beantragten Personalmittel wurden für wissenschaftliche Mitarbeiter*innen (Pos. 0812) um 7 % überzogen. Dies liegt an der Tariferhöhung sowie der Erhöhung des Mindestlohns, die sich über die Laufzeit des Projekts ergeben haben. Die beantragten Personalmittel für studentische Mitarbeiter*innen (Pos. 0822) wurden dagegen um 14 % unterschritten.

Innerhalb der Position 0835 wurden Unteraufträge an die folgenden Unternehmen vergeben:

- DHochN-Jade Digital Engineering GmbH: statische Beurteilung der MicroPorts-Konzepte (vgl. AP 2)
- Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH: Beratung im Hinblick auf rechtliche Rahmenbedingungen für die Planung und Inbetriebnahme von MicroPorts (vgl. AP 1)
- A+S Consult GmbH FuE: Softwarebereitstellung für die Demonstratorentwicklung (vgl. AP 5)

Insgesamt wurden die Mittel in dieser Position nicht komplett ausgeschöpft, da ein weiterer Unterauftrag aus der ursprünglichen Planung nicht erforderlich war.

Die Reisekosten (Pos. 0846) beinhalteten die Kosten, die im Rahmen von Projekttreffen entstanden sind. Zudem wurden im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit Publikationen erstellt und auf nationalen Konferenzen vorgestellt. Die ursprünglich beantragen Reisemittel wurden im Projekt nicht komplett realisiert. Dies ist dadurch begründet, dass der Projektpartner NWL ebenfalls in Bremen ansässig ist, sodass keine hohen Reisekosten für Treffen angefallen sind. Mit den Unterauftragnehmern fanden die Projekttreffen größtenteils am BIBA oder digital statt. Zudem wurde ein Konferenzbeitrag bei der International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC) eingereicht. Die Konferenz findet an der Universität Bremen statt, sodass auch hier keine Reisekosten entstanden sind.

Innerhalb der Positionen 0850 wurden unter anderem VR-Brillen sowie ein Tablet für die Demonstratorentwicklung beschafft. Für die Durchführung der Simulationsstudien wurde ein Simulationsrechner beschafft. Zudem sind Lizenzgebühren für Softwareanwendungen zur Ökobilanzierung und für die AR/VR Engine (Demonstrator) angefallen.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Forschungsprojekt MicroPorts hat ein Konzept entwickelt und bewertet, um den Zugang zum Binnenschiff zu erleichtern und damit Anreize für die verstärkte Nutzung des Binnenschiffs zu setzen. Das Straßen- und Schienennetz ist bereits heute an seiner Belastungsgrenze angekommen. Der Transport per Binnenschiff kann das Straßen- und Schienennetz entlasten und stellt damit eine sinnvolle Alternative und Ergänzung zum landseitigen Transport dar.

Das Forschungsvorhaben wurde als Verbundvorhaben durch das BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH und die Norddeutsche Wasserwerk Logistik GmbH (NWL) durchgeführt. NWL verfügt über umfangreiche Kompetenzen und ein hohes Erfahrungswissen im Bereich des Containertransports per Binnenschiff. Das BIBA hat umfangreiche Kenntnisse

und Methodenwissen im Bereich der Planung und Bewertung von logistischen Konzepten und Umschlagsplätzen, u.a. auch im maritimen Umfeld. Die Projektpartner verfügen damit gemeinsam als Konsortium über alle erforderlichen Kompetenzen, die für eine erfolgreiche Bearbeitung des Projekts erforderlich waren.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

II.4.1 Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte wurden nicht gemacht, erteilt oder vorgenommen.

II.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Das BIBA strebt als gemeinnützige Forschungseinrichtung keine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse an.

II.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Aus wissenschaftlicher Sicht lassen sich durch das BIBA gute Erfolgssichten nach dem Projektende annehmen. Sowohl die Simulation von neuen Umschlagskonzepten als auch die umweltbezogene Betrachtung dieser sowie die Darstellung von Entwicklungsergebnissen in AR-/VR-Umgebungen, stößt in den jeweiligen wissenschaftlichen Communities auf großes Interesse, sodass eingereichte Publikationen erfolgreich veröffentlicht werden konnten. Zudem ist eine weitere Veröffentlichung des Gesamtkonzepts geplant.

Zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sollen die Forschungsergebnisse zudem Eingang in die am Institut angebotenen Vorlesungen finden, bspw. „Fabrikplanung“ sowie „technische Logistik“.

II.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus wissenschaftlicher Sicht ergeben sich einige konkrete Ansatzpunkte für anschließende Untersuchungen. So kann es interessant sein, die durchgeführten Simulationen um unterschiedliche Betrachtungsebenen zu erweitern. Hierzu könnten sowohl eine detailliertere Betrachtung der Umschlagsprozesse an sich zählen als auch die Optimierung des Containerumschlags mit dem stark begrenzten Platzangebot eines MicroPorts. Diese Simulationen müssen entsprechend auch die Zu- und Ablaufsteuerung der LKW im urbanen Bereich berücksichtigen. Weitere Anschlusspunkte können die Entwicklung bzw. Anpassung von Umschlagsgeräten sein, die im Besonderen an die Gegebenheiten eines MicroPorts angepasst sind. Dies könnten dabei sowohl bauliche Veränderungen für eine wendigere Fahrzeugbewegung sein als auch sämtliche Themen rund um eine Autonomisierung der Tätigkeiten. Auch stellt die Entwicklung von Berechnungsmethoden mit umweltbezogenen Kennzahlen eine Anschlussmöglichkeit dar. Dabei ist es von Interesse zu untersuchen, ob die Betrachtung von weiteren Emissionen als nur CO_2 zu anderen Handlungsempfehlungen oder

Einschätzungen der Machbarkeit führen. Weitere Forschungsschwerpunkte kann es im Kontext der virtuellen Darstellung geben. Fragestellungen könnten hier sein, wie sich die Art der Darstellung auf die Entscheidungsfindung oder Akzeptanz von unterschiedlichen Szenarien für unterschiedliche Personen(gruppen) auswirkt.

II.5 Entwicklungen anderer Stellen während der Projektlaufzeit

Während der Projektlaufzeit konnte keine Entwicklungen an anderen Stellen im Bereich des Containerumschlags identifiziert werden.

II.6 Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit

Publikationen

- Pupkes, B.; Schukraft, S.; Trapp, M.; Leder, R.; Freitag, M.: Framework for the development of small multimodal inland waterway ports for a new decentralized inland port network. In: Freitag, F.; Kinra, A.; Kotzab, H.; Megow, N. (eds.): Dynamics in Logistics. Proceedings of the 9th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2024), Springer, Cham, 2024, pp. 198-207, DOI 10.1007/978-3-031-56826-8

- Schukraft, S.; Trapp, M.; Pupkes, B.; Leder, R.; Freitag, M.: Simulationsbasierte Evaluation des Potenzials dezentraler Umschlagspunkte für die Steigerung der Attraktivität des Binnenschifftransports im multimodalen Verkehr. In: Logistics Journal. Tagungsband zum 20. Fachkolloquium Logistik, Logistics Journal, Dresden, 2024

Studentische Abschlussarbeiten

- Spiller, Torsten: Anforderungsanalyse für die Entwicklung eines multimodalen Umschlagsystems zwischen Binnengewässer und landseitigem Gütertransport. Masterarbeit des BIBA, 2023
- Hennig, Marc Christian: Entwicklung von Betriebsszenarien für multimodale Umschlagsysteme in Hinblick auf Kleinsthäfen. Bachelorarbeit des BIBA, 2023
- Grzeschik, Janis: Ermittlung und Analyse bestehender Konzepte für multimodale Umschlagssysteme zwischen Binnengewässer und landseitigem Gütertransport. Masterarbeit des BIBA, 2023
- Operational requirements analysis for inland shipping with the new “Microports” system. Masterarbeit der Hochschule Emden-Leer (Prof. Dr. Bentin), 2023

Studentische Lehrprojekte

- Richardt, Bennet; Herwig, Helge: „MicroPorts“ – Entwicklung und Verifikation von Betriebsszenarien von Kleinsthäfen, Abgabedatum: November 2023, Masterprojekt

- Florian Rama, Luis Felipe Vareiro Cadilhe, Yilin Wen, Zikang Hua, 3D-Demonstrator zur Darstellung von MicroPorts in Augmented Reality, Abgabedatum: April 2023, Bachelorprojekt

Veranstaltungen

- Projektvorstellung bei einem Besuch des BMDV am BIBA im Juni 2023
- Teilnahme an der IHATEC-Fachkonferenz „Neue Technologien und Testfelder für Wasserstraßen und Häfen" im Juni 2023
- Projektvorstellung am Tag der Logistik am BIBA im April 2024
- Teilnahme als Besucher der ENVOCONNECT und Diskussion der Projektentwicklungen, 2023

III Literaturverzeichnis

[1] S. Eberlein, S. Oelker, J. Schumacher und M. Freitag, "Automatisierung von Containerterminals: Konzept für den Aufbau einer Pilotanlage für automatisierte Straddle Carrier und emulationsbasierte Untersuchung der Skalierbarkeit," *Industrie 4.0 Management*, Jg. 34, Nr. 6, S. 25–29, 2018.

[2] S. Eberlein, S. Oelker, S. Jacovis, V. Beckmann und M. Freitag, "Automatisierung von Containerterminals: Erfolgsfaktoren für das Management der Automatisierung von Straddle Carriern," *Industrie 4.0 Management*, Jg. 37, Nr. 6, S. 6–10, 2021.

[3] M. Hoff-Hoffmeyer-Zlotnik, T. Sprodowski und M. Freitag, "Vehicle compound planning and control system," *Expert Systems with Applications*, Jg. 231, S. 120660, 2023. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120660. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417423011624

[4] M. Görges und M. Freitag, "Dynamisierung von Planungsaufgaben auf Automobilterminals: Potenziale selbststeuernder logistischer Prozesse zur Flexibilisierung der Flächenmasterplanung," *Industrie 4.0 Management*, Jg. 35, Nr. 1, S. 23–26, 2019.

[5] A. Heuermann, H. Duin, C. Gorldt und K.-D. Thoben, "Service ideation and design for process innovations in future seaports," in *"Engineering, technology & innovation management beyond 2020: new challenges, new approaches": 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) : conference proceedings*, Funchal, R. Jardim-Gonçalves, Hg., 2017, S. 894–901, doi: 10.1109/ICE.2017.8279978.

[6] J. Wilhelm, N. H. Hoppe, C. Petzoldt, L. Rolfs und M. Freitag, "Evaluation of Performance and Cargo-Shock of an Autonomous Handling System for Container Unloading," *Logistics Research*, Jg. 15, Nr. 1, 2022, Art. Nr. 10, doi: 10.23773/2022_10.

[7] B. Brinkmann, *Seehäfen: Planung und Entwurf* (SpringerLink Bücher). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005.

[8] S. Awad-Núñez, N. González-Cancelas, F. Soler-Flores und A. Camarero-Orive, "How should the sustainability of the location of dry ports be measured? A proposed methodology using Bayesian networks and multi-criteria decision analysis," *Transport*, Jg. 30, Nr. 3, S. 312–319, 2015, doi: 10.3846/16484142.2015.1081618.

[9] A. Verhetsel, R. Kessels, P. Goos, T. Zijlstra, N. Blomme und J. Cant, "Location of logistics companies: a stated preference study to disentangle the impact of accessibility," *Journal of Transport Geography*, Jg. 42, S. 110–121, 2015, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.12.002.

[10] M. Kastner, N. Kämmerling, C. Jahn und U. Clausen, "Equipment selection and layout planning - Literature overview and research directions," in *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)/ Data Science in Maritime and City Logistics: Data-driven Solutions for Logistics and Sustainability* (Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 30), C. Jahn, W. Kersten und C. M. Ringle, Hg., 11. Aufl. Berlin: epubli, 2020, S. 485–519. [Online]. Verfügbar unter: https://www.econstor.eu/handle/10419/228960

[11] M. Wiercx, M. van Kalmthout und B. Wiegmans, "Inland waterway terminal yard configuration contributing to sustainability: Modeling yard operations," *Research in Transportation Economics*, Jg. 73, S. 4–16, 2019, doi: 10.1016/j.retrec.2019.02.001.

[12] R. Konings und H. Priemus, "Terminals and the Competitiveness of Container Barge Transport," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Jg. 2062, Nr. 1, S. 39–49, 2008, doi: 10.3141/2062-06.

[13] *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*, 1991-2, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2010.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Individueller Projektbericht
3. Titel MicroPorts – Potentialanalyse eines multimodalen Umschlagsystems für den direkten oder indirekten Warenumschlag zwischen einer Binnenwasserstraße und mindestens einem weiteren Gütertransportsystem	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schukraft, Susanne; Pupkes, Birte; Trapp, Markus; Leder, Rieke	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juni 2024
	6. Veröffentlichungsdatum -
	7. Form der Publikation -
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH Hochschulring 20 28359 Bremen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19 H 22001 A
	11. Seitenzahl 40
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMDV) 53175 Bonn	13. Literaturangaben 13
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 26
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Der Gütertransport erfolgt in Deutschland heute schwerpunktmäßig über das Straßen- und Schienennetz. Dies führt zu einem hohen Transportaufkommen, was sich bspw. durch Lieferverzögerungen und ein vermehrtes Stauaufkommen zeigt. Eine mögliche Alternative und Ergänzung zum landseitigen Transport stellt der Gütertransport per Schiff auf Binnenwasserwegen dar. Das übergeordnete Ziel des Forschungsprojekts MicroPorts lag in der Konzeption und Überprüfung des Potenzials dezentraler Umschlagspunkte als Ergänzung zu bestehenden Häfen. Durch diese sogenannten MicroPorts sollen die Zu- und Abfahrtswege zu den Häfen reduziert und damit die Attraktivität des Binnenschifftransports gesteigert werden. Die Arbeitsschwerpunkte des BIBA lagen in der technischen Konzeption der MicroPorts und in der simulationsbasierten Evaluation des Gesamtkonzepts. Im Rahmen des Projekts wurden technische Konzepte für die MicroPorts entwickelt. Das Potenzial der MicroPorts bei der Einbindung in bestehende Logistiknetzwerke wurde im Hinblick auf ökonomische und ökologische Zielgrößen im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht. Im Hinblick auf eine mögliche Umsetzung wurden rechtliche Rahmenbedingungen für die Planung von MicroPorts betrachtet sowie mögliche Betreibermodelle beschrieben. Es konnte gezeigt werden, dass der Nutzen von MicroPorts prinzipiell gegeben ist. Die Wirtschaftlichkeit und technische Umsetzbarkeit muss aber konkret für jeden Einzelfall betrachtet werden. Dabei müssen auch die länderspezifischen rechtlichen Rahmenbedingungen im Einzelfall geprüft und beachtet werden.	
19. Schlagwörter Containerumschlag, Inlandhafen, Containertransport, Binnenschiff, Simulation	
20. Verlag -	21. Preis -

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Individual project report
3. title MicroPort – Potential analysis of a multimodal transshipment system for the direct or indirect transshipment of goods between an inland waterway and at least one other freight transport system	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schukraft, Susanne; Pupkes, Birte; Trapp, Markus; Leder, Rieke	5. end of project June 2024
	6. publication date -
	7. form of publication -
8. performing organization(s) (name, address) BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH Hochschulring 20 28359 Bremen	9. originator's report no. -
	10. reference no. 19 H 22001 A
	11. no. of pages 40
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMDV) 53175 Bonn	13. no. of references 13
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 26
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

The transportation of goods in Germany today is mainly carried out via the road and rail network. This leads to a high volume of transportation, which is reflected, for example, in delivery delays and increased congestion. One possible alternative and supplement to land-based transport is the transportation of goods by ship on inland waterways. The aim of the MicroPorts research project was to design and evaluate the potential of decentralized transhipment points as a supplement to existing ports. These so-called MicroPorts are intended to reduce the access and departure routes to the ports and thus increase the attractiveness of inland waterway transport. The BIBA mainly focused on the technical design of the MicroPorts and the simulation-based evaluation of the overall concept.

Technical concepts for the MicroPorts were developed as part of the project. The potential of the MicroPorts for integration into existing logistics networks was analysed with regard to economic and ecological targets by a simulation study. With regard to possible implementation, the legal framework conditions for the planning of MicroPorts were considered and possible operator models were described. It was shown that the benefits of MicroPorts are given in principle. However, the economic viability and technical feasibility must be considered specifically for each individual case. The country-specific legal framework conditions must also be examined and taken into account in each individual case.

19. keywords Container handling, inland port, container transport, inland vessel, simulation	
20. publisher -	21. price -