

Simulationsbasierte Evaluation des Potenzials dezentraler Umschlagspunkte für die Steigerung der Attraktivität des Binnenschiffverkehrs im multimodalen Verkehr

Simulation-based evaluation of the potential of decentralized transshipment points for increasing the attractiveness of inland waterway transport in multimodal traffic

Susanne Schukraft¹
 Markus Trapp¹
 Birte Pupkes¹
 Rieke Leder¹
 Michael Freitag^{1,2}

¹ BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen, Hochschulring 20, 28359 Bremen, Deutschland

² Universität Bremen, Fachbereich Produktionstechnik, Badgasteiner Straße 1, 28359 Bremen, Deutschland

Das steigende Transportaufkommen führt in Deutschland zu einer starken Belastung des Straßen- und Schienennetzes. Eine mögliche Alternative und Ergänzung zum landseitigen Verkehr ist der Transport von Gütern per Binnenschiff. Neben einer Entlastung des Straßen- und Schienennetzes bietet das Binnenschiff zudem eine vergleichsweise gute Umweltverträglichkeit. Der vorliegende Beitrag stellt in diesem Zusammenhang ein Konzept vor, wie durch die Bereitstellung zusätzlicher dezentraler Umschlagspunkte, sogenannter MicroPorts, der Zugang zum Binnenschiff erleichtert werden kann. Damit sollen Anreize für eine verstärkte Nutzung des Binnenschiffs geschaffen werden. Über eine Simulationsstudie wird exemplarisch anhand eines Fallbeispiels die Auswirkung eines MicroPorts auf ökonomische und ökologische Zielkriterien dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass durch den MicroPort Transportwege reduziert werden können und damit eine Kosteneinsparung von bis zu 25 Prozent für mit dem Binnenschiff transportierte Container möglich ist.

[Schlüsselwörter: dezentraler Hafen, Containertransport, Simulation, CO₂eq.-Emissionen, Binnenschifftransport]

The increasing volume of transportation in Germany is putting a strain on the road and rail network. A possible alternative and supplement to land-based transport is the transportation of goods by inland waterway vessel. In addition to relieving the road and rail network, inland waterway vessels also offer comparatively good environmental compatibility. In this context, this article presents a concept for facilitating access to inland waterway vessels by providing additional decentralized transshipment points, so-called MicroPorts. The aim is to

create incentives for increased use of inland waterway vessels. A simulation study is used to illustrate the impact of a MicroPort on economic and ecological target criteria using a case study as an example. It was shown that the MicroPort can achieve cost savings of up to 26 percent for containers transported by inland waterway vessel.

[Keywords: small-scale inland port, container transport, simulation, CO₂eq. emission]

1 EINLEITUNG

Der Gütertransport in Deutschland erfolgt heute schwerpunktmäßig über den Straßen- und Schienengüterverkehr [1, 2]. Dies führt zu einem hohen Transportaufkommen, was sich wiederum durch ein vermehrtes Stauaufkommen und Lieferverzögerungen zeigt [3, 4]. Als Alternative könnten Güter vermehrt auf Binnenwasserwegen transportiert werden. Binnenschiffe sind vergleichsweise emissionsarm und zeichnen sich i.d.R. durch eine hohe terminliche Zuverlässigkeit aus. Im Hinblick auf die Zuverlässigkeit muss bei Binnenschiffen jedoch die Abhängigkeit von den vorliegenden Wetterbedingungen, beispielsweise durch Eisbildung im Winter oder schwankende Wasserstände, beachtet werden [5]. Ein Gegenargument für die Nutzung von Binnenschiffen liegt in der oftmals schweren Erreichbarkeit der Häfen. Der vorliegende Beitrag geht von einem Konzept aus, das die Errichtung zusätzlicher, dezentraler Umschlagspunkte vorsieht, um die Zu- und Abfahrtswege zu den Häfen zu reduzieren und die Attraktivität des Binnenschiffverkehrs zu steigern. Diese sogenannten MicroPorts sollen nur die grundlegend notwendigen Dienstleistungen für den Containerumschlag

bieten und sind auf verhältnismäßig kleine Umschlagsmengen ausgelegt [6].

Der vorliegende Beitrag stellt in Kapitel 2 die Grundidee und die Konzeption von MicroPorts vor. Die Bewertung der Eignung von MicroPorts für den Containerumschlag erfolgt durch eine Simulationsstudie (Kapitel 3). Die Bewertung beinhaltet Kriterien zur Messung sowohl der ökonomischen (z. B. Kosten) als auch der ökologischen (z. B. CO₂eq.-Emissionen) Leistungsfähigkeit. Die Bewertung erfolgt exemplarisch anhand eines realen Fallbeispiels, welches den Containertransport von Bremerhaven entlang der Weser nach Minden abbildet. Der Transport erfolgt in Abhängigkeit des Szenarios mit dem LKW oder in einer Kombination von Binnenschiff- und LKW-Transport. Die Simulationsstudie zeigt die Vor- und Nachteile der Transportmittel auf und analysiert, wie sich ein zusätzlicher Umschlagspunkt auf die Zielgrößen auswirkt. Zudem wird der Einfluss der Verteilung der Kundenstandorte und der Transportkapazitäten auf die Zielgrößen dargestellt.

2 MICROPORTS-KONZEPT

Im Folgenden wird das Konzept zusätzlicher dezentraler Umschlagspunkte für den Containerumschlag erläutert. Dies beinhaltet die Grundidee hinter der Entwicklung von MicroPorts, die technische Konzeption sowie relevante Faktoren für die Standortauswahl.

2.1 GRUNDIDEE DES KONZEPTS

Die Grundidee der MicroPorts besteht darin, zusätzliche dezentrale Umschlagspunkte für den Containerumschlag zwischen landseitigen Transportmitteln (d. h. LKW und Bahn) und dem Binnenschiff bereitzustellen. Damit sollen die Zu- und Abfahrtswege zu den Häfen reduziert werden. Bei Transporten, die bereits heute über den Wasserweg erfolgen, können durch einen günstiger gelegenen Containerumschlag Transportkilometer gespart werden. MicroPorts sollen möglichst platzsparend und kostengünstig aufgebaut und betrieben werden können. Durch die im Transport voraussichtlich erzielbaren Zeit- und Kosteneinsparungen soll die Attraktivität des Binnenschifftransports gesteigert und es sollen Anreize für die Verlagerung von Gütertransporten auf den Wasserweg geschaffen werden.

MicroPorts sollen nicht den vollen Dienstleistungsumfang regulärer Häfen anbieten, sondern sich auf die notwendigen Kernfunktionen beschränken. Diese wurden in einer Anforderungsanalyse und Bedarfsermittlung mit Branchenexperten ermittelt und beinhalten im Wesentlichen das Bereitstellen und das Be- und Entladen von Containern, das erforderliche Wiegen der Container, die mit dem Umschlag einhergehende Dokumentation sowie das kurzzeitige Zwischenpuffern von Containern, die auf den Weitertransport warten. Durch die Beschränkung auf die wesentlichen Kernfunktionen soll der Ressourcenbedarf

der MicroPorts (insbesondere der Flächenbedarf) geringgehalten werden, um den Einfluss des MicroPorts auf die Umwelt zu minimieren und eine höhere Flexibilität bei der Standortauswahl zu haben.

2.2 TECHNISCHE KONZEPTION

Bei der Errichtung von MicroPorts soll nach Möglichkeit vorhandene Infrastruktur genutzt werden, um die Kosten für den Aufbau sowie die Anbindung des MicroPorts an die Verkehrsinfrastruktur so gering wie möglich zu halten. Ein Beispiel für die Einbindung vorhandener Infrastruktur sind bestehende Uferbefestigungen für das Anlegen der Binnenschiffe und das Laden und Löschen der Container. Den Aufbau von MicroPorts unmittelbar an vorhandenen Brücken ermöglicht zudem die Nutzung vorhandener Straßen und reduziert die Kosten bei der Anbindung des MicroPorts an das Straßennetz.

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. Ein Hemmnis dieses mobilen Konzepts für MicroPorts liegt in den rechtlichen Anforderungen und den umfangreichen Genehmigungsverfahren, die für den Aufbau und den Betrieb von Häfen in Deutschland erforderlich sind.

2.3 STANDORTAUSWAHL

Für die Definition der Standortanforderungen wurde ebenfalls eine Anforderungsanalyse mit Branchenexperten durchgeführt. Die Standortauswahl für MicroPorts basiert auf verschiedenen Auswahlkriterien. Prinzipiell sollen MicroPorts unmittelbar an Flüssen mit bestehenden Binnenschiffwegen errichtet werden, um einen direkten Umschlag zwischen land- und wasserseitigem Verkehr zu ermöglichen. Der Fluss muss am gewählten Standort das Ankeren von Binnenschiffen ermöglichen und das ankernde Schiff darf den Schiffsverkehr, d. h. vorbeifahrende Schiffe, nicht behindern. Eine grundlegende Standortanforderung ist ein bestehender Bedarf nach zusätzlichen Umschlagskapazitäten. Für eine Bedarfsabschätzung kann zum Beispiel die Art und die Anzahl vorhandener Firmen und Industriegebiete und damit potenzieller Kunden herangezogen werden. Zudem muss eine ausreichende Distanz zu bestehenden konkurrierenden Häfen, die bereits heute den Containerumschlag anbieten, vorhanden sein. Ein wesentlicher Faktor ist der Zugang zum Straßen- und im Optimalfall auch zum Bahnverkehr. Entscheidungskriterien können hier z. B. die Distanz zu Straßen- und Schienentrassen sein, die Zugänglichkeit zu den Verkehrsmitteln (z. B.

Distanz zu Autobahnauffahrten oder Güterbahnhöfen) sowie die Art der nächstgelegenen Straßen (z. B. Landstraße, Bundesstraße oder Autobahn) sein. Neben den dargestellten Aspekten müssen bei der Standortauswahl darüber hinaus auch rechtliche (z. B. Naturschutzgebiete) und gesellschaftliche Faktoren (z. B. Lärmschutz für Anwohnergebiete) untersucht und berücksichtigt werden.

3 SIMULATIONSSTUDIE

Die vorliegende Simulationsstudie untersucht den Einfluss eines MicroPorts auf der Transportstrecke von Bremerhaven nach Minden, wobei die Auswirkungen auf ökonomische und ökologische Zielgrößen umfassend analysiert werden. Anhand eines entwickelten Simulationsmodells wird der Containertransport unter verschiedenen Szenarien evaluiert, um Einblicke in Transportkosten, Lieferzeiten und CO₂eq.-Emissionen zu gewinnen.

3.1 PROBLEMBESCHREIBUNG

Für die Simulationsstudie wurde in Zusammenarbeit mit einem Binnenschiffverkehrsunternehmen die Transportstrecke auf der Weser vom Seehafen Bremerhaven bis Minden als Beispielstrecke ausgewählt. Der Industriepartner bietet den Transport von Gütern (insbesondere Containern) mit Binnenschiffen auf der gewählten Strecke an. Die Strecke ist deshalb interessant, weil es neben den Häfen in Bremen und Minden keine weiteren Umschlagmöglichkeiten für Container gibt. Die Distanzen betragen per Binnenschiff ca. 73 km von Bremerhaven bis Bremen sowie 155 km von Bremen bis Minden. Der weitere Streckenverlauf von Minden bis nach Fallersleben wurde nicht berücksichtigt, da hier bereits zahlreiche Umschlagmöglichkeiten bestehen.

Basierend auf den in Kapitel 2 dargestellten Kriterien wurden auf dem Streckenabschnitt zwischen Bremen und Minden mögliche Standorte für MicroPorts identifiziert. Für die nachfolgend dargestellte Simulationsstudie wurde Nienburg als Standort für den MicroPort gewählt. Der Standort hat eine ausreichende Distanz sowohl zu Bremen (ca. 97 km) als auch Minden (ca. 58 km) und ist durch die Bundesstraße (B6) unmittelbar an das Straßennetz angeschlossen.

3.2 SIMULATIONSMODELL

In der Simulationsstudie wird der Transport von Containern von Bremerhaven in Richtung Minden abgebildet. Für die Modellierung wurde die Software AnyLogic (Version 8.8.6) verwendet. Es wird ein Zeitraum von 4 Wochen simuliert. Pro Tag kommen 50 Container im Seehafen in Bremerhaven an, die zu einem Kundenstandort in Richtung Minden transportiert werden müssen. 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. Die Entscheidung für

den Transportmodus erfolgt zufällig. Per Binnenschiff transportierte Container können an den bestehenden Häfen in Bremen und Minden abgeladen werden. Beinhaltet die Simulation den beschriebenen zusätzlichen MicroPort in Nienburg, ist auch ein Entladen am MicroPort möglich. Um die Umschlagpunkte in Bremen, Nienburg und Minden werden jeweils 25 Kundenstandorte innerhalb eines festgelegten Radius um die Umschlagshäfen erzeugt. Jedem Kundenstandort 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 1 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).

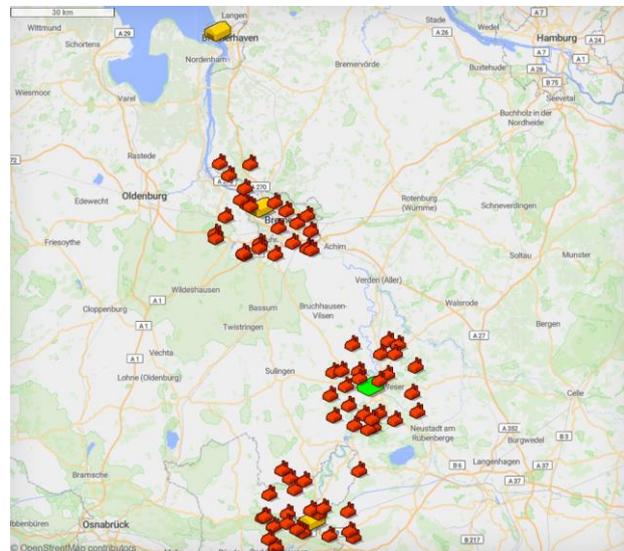


Abbildung 1. Fallbeispiel mit Umschlagspunkten und Kundenstandorten

Das Binnenschiff hat eine Kapazität von 60 TEU (entspricht 30 Containern) und fährt einmal täglich die in Abbildung 1 dargestellte Strecke von Bremerhaven aus Richtung Minden. Die Geschwindigkeit beträgt 15 km/h, das Laden bzw. Löschen eines Containers dauert jeweils drei Minuten. LKW werden im Mittel 1 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 3 Minuten.

Die Simulationsstudie vergleicht zum einen Szenarien jeweils mit und ohne einen zusätzlichen MicroPort. Zudem wird der Radius für die Platzierung der Kundenstandorte variiert (15, 30, 50 km) sowie der Anteil der Container, die von Bremerhaven aus per Binnenschiff transportiert werden (50, 75, 100 Prozent). Für jedes Szenario werden 10

Replikationen durchgeführt. Insgesamt wurden für die Simulationsstudie damit 180 Simulationsläufe (2x3x3x10) durchgeführt.

3.3 BEWERTUNG

Durch die Simulationsstudie soll der Einfluss eines MicroPorts auf ökonomische und ökologische Zielgrößen untersucht werden. Aus ökonomischer Sicht werden 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 können aus Gründen der Vertraulichkeit nachfolgend nicht absolut angegeben werden. Die ökologische Bewertung erfolgt anhand der auf den Transport eines Containers bezogenen CO₂eq.-Emissionen. Hierfür werden die Abschnitte Transport per LKW, Transport per Binnenschiff (falls vorhanden) und Umschlagsprozesse kalkuliert.

3.4 ERGEBNISSE

In den folgenden Abschnitten werden die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen eines zusätzlichen MicroPorts auf den Containertransport zwischen Bremerhaven und Minden dargestellt.

3.4.1 ÖKONOMISCHE BEWERTUNG

Abbildung 2 zeigt zunächst 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.

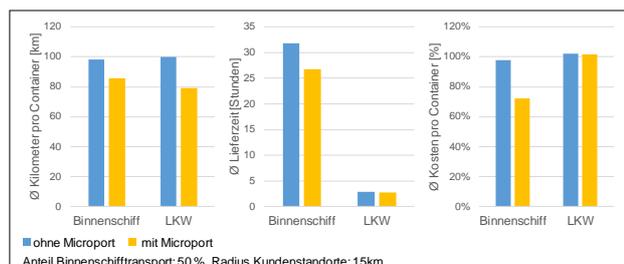


Abbildung 2. Zielerreichung mit vs. ohne MicroPort

In der Abbildung 2 (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 2 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 2 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 3 zeigt exemplarisch für das Szenario ohne MicroPort den Einfluss der vorhandenen 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.

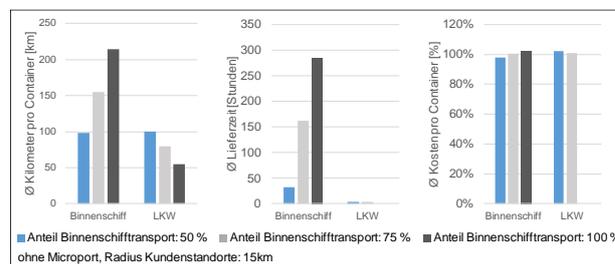


Abbildung 3. Einfluss der Transportkapazitäten auf die Zielerreichung

Ein weiterer interessanter Einflussfaktor sowohl auf die Lieferzeit als auch die Lieferkosten ist die Distanz der Kundenstandorte zu den Umschlagshäfen. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse mit und ohne MicroPort in Abhängig-

keit 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.

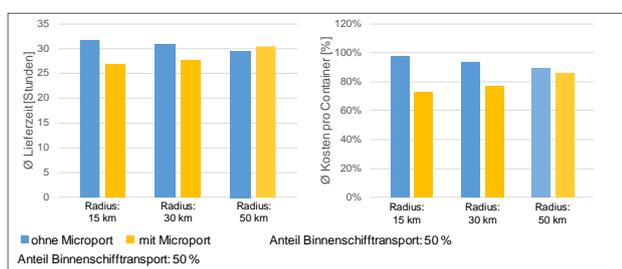


Abbildung 4. Einfluss der Distanz der Kundenstandorte zum MicroPort

3.4.2 ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

Abbildung 5 zeigt die vergleichende Gegenüberstellung von Szenarien, bei denen drei Parameter variiert werden: Nutzung eines MicroPorts (mit/ohne), Anteil der mittels Binnenschiff transportierten Container (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) sowie die Größe des Radius, in dem die Kunden rund um den MicroPort platziert sind (15 km, 30 km, 50 km). Als eine Erkenntnis lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass bei der Nutzung eines MicroPorts für jede Kundendistanz weniger Emissionen entstehen als im gleichen Szenario ohne MicroPort. Mit steigendem Anteil der mittels Binnenschiff transportierten Container sinken die jeweils entstehenden CO₂eq.-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.

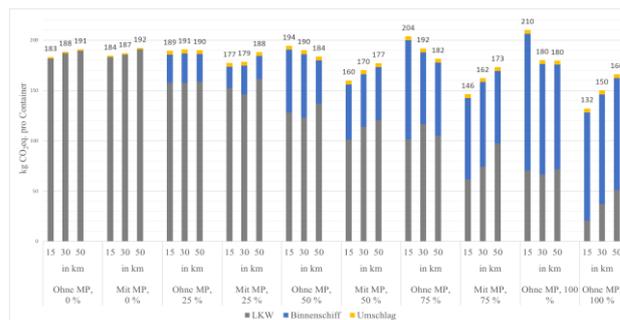


Abbildung 5. Überblick über CO₂eq.-Emissionen unterschiedlicher Szenarien

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.

Die entstehenden CO₂eq.-Emissionen beziehen sich auf das Produkt aus Containergewicht (in t) und die zurückgelegte Entfernung (in km), weshalb neben der Variation der Kundenentfernung auch das Containergewicht untersucht wurde. Abbildung 6 zeigt den Einfluss des Containergewichts auf diese Emissionen. Es ist zu erkennen, dass in allen Gewichts- und Binnenschiffanteilvariationen die Nutzung eines MicroPorts weniger CO₂eq.-Emissionen entstehen. Die Einsparungen liegen dabei für die leichten als auch schweren Variationen jeweils zwischen rund 6 % und 37 %. Auch hier bedeutet ein größerer Binnenschiffanteil ein größeres Einsparungspotenzial. Lediglich bei der mittleren Gewichtskategorie mit 12,5 t bewegen sich die Einsparungen zwischen 6 % und 17 %.

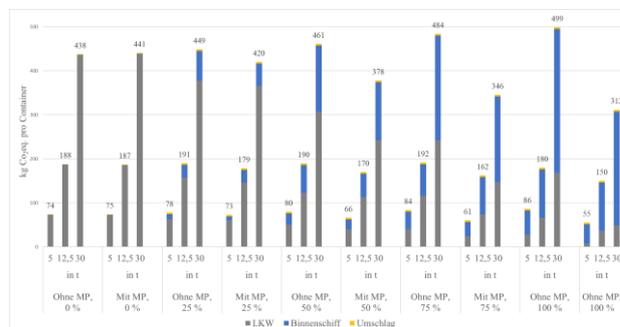


Abbildung 6. Einfluss des Containergewichts auf entstehende CO₂eq.-Emissionen

3.5 DISKUSSION

Die simulationsbasierte Bewertung zeigt, dass durch den MicroPort Transportkilometer eingespart und damit kürzere Lieferzeiten und günstigere Transporte realisiert werden können. Bei der Nutzung von MicroPorts und der Verlagerung von Transporten auf das Binnenschiff muss beachtet werden, dass zusätzliche Transportbedarfe entstehen und demzufolge ausreichende Transportkapazitäten bereitgestellt werden müssen. Zudem konnte gezeigt werden, dass das Einsparpotenzial durch MicroPorts stark abhängig ist von der Distanz der Kundenstandorte zu den MicroPorts und der Distanz zu alternativen Umschlagshäfen. Die aufgezeigten ökonomischen Vorteile spiegeln sich auch in den ökologischen Kennzahlen wider. Dadurch, dass ein MicroPort die Distanz von Hafen zu Kunden reduzieren kann, erhöht sich der Binnenschiffanteil an der Gesamttransportleistung und durch die geringeren Emissionen pro transportierten Tonnenkilometer sinken die Gesamtemissionen. Auch der im Vergleich zum reinen Straßentransport benötigte Umschlag vom Binnenschiff auf den LKW fällt dabei nicht besonders ins Gewicht.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der vorliegende Beitrag stellte ein Konzept zur Steigerung der Attraktivität des Binnenschiffs für den Containertransport vor. Durch dezentrale Umschlagpunkte, sogenannte MicroPorts, sollen in Ergänzung zu den bestehenden Häfen zusätzliche Umschlagmöglichkeiten für Container geschaffen werden, um die Zu- und Abfahrtswege für den Umschlag von und auf das Binnenschiff zu reduzieren und damit Zeit- und Kosteneinsparungen zu erzielen. Die vorgestellte Simulationsstudie konnte aufzeigen, dass durch einen MicroPort Transportkilometer eingespart und somit kürzere Lieferzeiten, Reduzierungen der Transportkosten sowie Verringerungen der CO₂eq.-Emissionen erreicht werden können. Das Einsparungspotenzial ergibt sich dabei sowohl durch die Reduzierung der Gesamttransportkilometer als auch eine Erhöhung des Binnenschiffanteils bzw. Reduzierung der zurückgelegten Strecke mittels LKW, hängt jedoch stark von der Distanz der Zielorte zu dem MicroPort und der Distanz des MicroPorts zu bestehenden Umschlagshäfen ab.

Die Bewertung erfolgte anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls. In weiteren Studien sollte der Anwendungsfall angepasst und erweitert werden. Dies kann zum Beispiel die Betrachtung von Szenarien mit größeren Distanzen zwischen den Umschlagshäfen beinhalten. Darüber hinaus sollte der Einfluss von dezentralen Umschlagpunkten über einzelne Transportstrecken hinausgehend in einem Netzwerk von verschiedenen Häfen und MicroPorts abgebildet und analysiert werden. Im Sinne einer nachhaltigen Betrachtung sollten auch weitere Einflüsse untersucht werden. Neben der bereits betrachteten ökonomischen Perspektive, könnten weitere ökologische Parameter bilanziert

werden (z. B. Stickoxide oder Landverbrauch) oder soziale Einflüsse tiefergehend betrachtet werden.

5 ACKNOWLEDGEMENT

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojekts Microports - Potentialanalyse eines multimodalen Umschlagsystems für den direkten oder indirekten Warenumschlag zwischen einer Binnenwasserstraße und mindestens einem weiteren Gütertransportsystem, das vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) unter dem Förderkennzeichen 19H22001A gefördert wurde.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Verkehr in Zahlen 2022/2023: KraftfahrtBundesamt, Flensburg, 2022. Accessed: May 2 2024. [Online]. Available: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikation/en/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.html>
- [2] C. Sys, E. van de Voorde, T. Vanelander, and E. van Hassel, "Pathways for a sustainable future inland water transport: A case study for the European inland navigation sector," *Case Studies on Transport Policy*, vol. 8, no. 3, pp. 686–699, 2020, doi: 10.1016/j.cstp.2020.07.013.
- [3] L. Figueiredo, I. Jesus, J. Machado, J. R. Ferreira, and J. L. Martins de Carvalho, "Towards the development of intelligent transportation systems," in *2001 intelligent transportation systems proceedings*. August 25 - 29, 2001, Oakland Marriott City Center Hotel, Oakland, (CA), USA.
- [4] Crainic, T.G., Ricciardi, N., Storchi, G., "Advanced freight transportation systems for congested urban areas," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 12, no. 2, pp. 119–137, 2004, doi: 10.1016/j.trc.2004.07.002.
- [5] V. Roso, V., C. Vural, A. Abrahamsson, M. Engström, S. Rogerson, and V. Santén, "Drivers and Barriers for Inland Waterway Transportation," *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 13, no. 4, pp. 406–417, 2020, doi: 10.31387/oscm0430280.
- [6] B. Pupkes, S. Schukraft, M. Trapp, R. Leder, and M. Freitag: Framework for the development of small multimodal inland waterway ports for a new decentralized inland port network. In: *Dynamics in Logistics. Proc. of LDIC 2024*, Springer, Cham, 2024, pp. 198-207. DOI: 10.1007/978-3-031-56826-8_15

Birte Pupkes, M. Sc., wissenschaftliche Mitarbeiterin am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Adresse: Hochschulring 20, 28359 Bremen, Germany, Telefon: +49 421 218-50 055, E-Mail: pup@biba.uni-bremen.de

Rieke Leder, M. Sc., wissenschaftliche Mitarbeiterin am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Adresse: Hochschulring 20, 28359 Bremen, Germany, Phone: +49 421 218-50056, E-Mail: led@biba.uni-bremen.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag, Professor im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und geschäftsführender Direktor des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. Adresse: Hochschulring 20, 28359 Bremen, Germany, Phone: +49 421 218-50001, E-Mail: fre@biba.uni-bremen.de

MBE Susanne Schukraft, wissenschaftliche Mitarbeiterin am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Adresse: Hochschulring 20, 28359 Bremen, Germany, Phone: +49 421 218-50144, E-Mail: skf@biba.uni-bremen.de

Markus Trapp, M. Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Adresse: Hochschulring 20, 28359 Bremen, Germany, Phone: +49 421 218-50146, E-Mail: tap@biba.uni-bremen.de