



Deutsche
Verkehrswissenschaftliche
Gesellschaft e.V.

Journal für Mobilität und Verkehr

Güterverkehr und Logistik



Inhaltsverzeichnis

Editorial <i>Jan Ninnemann</i>	1
Der Carbon Intensity Indicator (CII) in der Schifffahrt <i>Raghib Raza, Rebecca Gerdes, Steffen Loest, Carsten Hilgenfeld</i>	2
Ansätze für eine integrierte Raum- und Güterverkehrsplanung am Beispiel der Metropolregion Rheinland <i>Bert Leerkamp, Andre Thiemermann, Florian Groß, Philipp Nögel-Verroul, Theo Janßen, Thomas Siefer, Bernd Sewcyk, Roland Busch</i>	7
LieferradDA – Erkenntnisse zum Betrieb eines Radlieferdienstes <i>Johanna Bucerius, Axel Wolfemann, Jan-Marc Joost, Oliver Schocke</i>	16
Förderung kleiner und auf Niedrigwasser optimierte Binnenschiffe <i>Roland Frindik</i>	27
Improving port sustainability performance: Cost-benefit and carbon footprint analysis for assessing infrastructure investments <i>Lasse Steffens, Jan Wedemeyer</i>	38
Modellbasierte Ermittlung von verkehrlichen Potentialen eines stadtbahnbasierten Gütertransports im Projekt LogIKTram in Karlsruhe <i>Lukas Barthelmes, Emre Görgülü, Jelle Kübler, Martin Kagerbauer, Peter Vortisch</i>	50
Impressum	



Editorial

Prof. Dr. Jan Ninnemann, Präsident DVWG

In Zeiten des Klimawandels und der zunehmenden Urbanisierung wird es immer wichtiger, Nachhaltigkeit in verschiedenen Bereichen des Transportwesens zu fördern. Die Schifffahrt und urbane Logistik stellen zwei wichtige Bereiche dar, in denen ein Umdenken hin zu nachhaltigen Praktiken notwendig ist. Dies erfordert eine konsequente Reduktion von CO₂-Emissionen und den Einsatz von umweltfreundlichen Transportmitteln wie Lastenrädern.

Im Bereich der Schifffahrt ist die Reduktion von CO₂-Emissionen von besonderer Bedeutung, da dieser Sektor für einen erheblichen Anteil der globalen Emissionen verantwortlich ist. In den letzten Jahren wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Emissionen zu reduzieren, wie zum Beispiel die Verwendung von umweltfreundlicheren Treibstoffen wie LNG oder die Optimierung der Schiffsdesigns. Doch es bleibt noch viel zu tun, um das Ziel einer klimaneutralen Schifffahrt zu erreichen.

Auch in der urbanen Logistik gibt es viele Möglichkeiten, Nachhaltigkeit zu fördern. Zum Beispiel können Lieferungen mit Hilfe von Routenoptimierung und intelligenter Flottensteuerung gebündelt und somit die Anzahl der Fahrzeuge in der Stadt reduziert werden. Auch können alternative Transportmittel wie Fahrräder und Elektrofahrzeuge eingesetzt werden, um den CO₂-Ausstoß zu senken. Eine integrierte Raum- und Güterverkehrsplanung kann dabei einen wichtigen Beitrag leisten, um die verkehrlichen Abläufe zu optimieren und den Energie- und Ressourcenverbrauch zu reduzieren.

Unsere neue Ausgabe des Journals für Mobilität und Verkehr greift diese und weitere Aspekte auf und

beleuchtet in einem verkehrsträgerübergreifenden Diskurs aktuelle Fragen der Nachhaltigkeit in der Logistik.

Der Carbon Intensity Indicator (CII) in der Schifffahrt. Eine Situationsanalyse.

Raghib Raza, Rebecca Gerdes, Steffen Loest, Carsten Hilgenfeld*

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Der sechste Lagebericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) aus dem Jahr 2021 hat die Welt in hohem Maße sensibilisiert. Die IPCC-Prognosen besagen, dass die globale Temperatur um bis zu 5 Grad Celsius steigen könnte (vgl. IPCC 2021:13). Dies ist ein Extremszenario und daher unwahrscheinlich, aber eben auch nicht ausgeschlossen.

An dieser Situation ist die kommerzielle Schifffahrt maßgeblich beteiligt. Laut der 4. IMO Greenhouse Gas Study haben Schiffe mit einer Bruttoreaumzahl¹ über 100 weltweit im Jahr 2018 rund 1.076 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid ausgestoßen (vgl. IMO 2021). Das entspricht fast 3 % der globalen CO₂-Emissionen und einem Anstieg von fast 10 % im Vergleich zu 2012 (vgl. Europäische Kommission 2022; IMO 2019a). Die IMO setzt sich dafür ein, diesem unkontrollierten Emissionswachstum Einhalt zu gebieten und den Schaden zu begrenzen.

Daher hat sich die IMO das Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen bis 2030 um 40 % und bis 2050 sogar um 70 % gegenüber dem Stand von 2008 zu senken (vgl. IMO 2019b). Um dieses Ziel zu erreichen, wurden unter anderem Mechanismen wie der EEDI (Energy Efficiency Design Index), der EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index), und jetzt der Kohlenstoffintensitätsindikator (Carbon Intensity Indicator, CII) eingeführt.

¹ BRZ, engl. Gross Tonnage GT ist eine dimensionslose Zahl, die sich aus dem Gesamtvolumen eines Schiffes und einem Korrektur-Faktor ergibt (vgl. BSH 2021).

Schlagwörter / Keywords:

Schifffahrt, CO₂, Emissionen, CII

1. Was genau ist der CII?

Im Wesentlichen sagt der CII aus, wie effizient ein Schiff Güter oder Passagiere im Verhältnis zum CO₂-Ausstoß transportiert. Konkret wird angegeben, wie viel Gramm CO₂ pro Tonne Ladekapazität auf einer Seemeile durchschnittlich ausgestoßen werden. Der CII ist eine der von der IMO im Juni 2021 verabschiedeten Vorschriften und trat am 1. Januar 2023 für alle Fracht-, RoPax- und Kreuzfahrtschiffe über 5.000 BRZ in Kraft (vgl. MEPC 2021a).

Der CII-Wert eines Schiffes wird jährlich berechnet und mit den von der IMO festgelegten Referenz-Werten verglichen. Der Referenz-Wert für den CII bezieht sich auf die Emissionsdaten von 2019 und gilt für alle Schiffe. Auf der Grundlage dieses Vergleichs wird die Leistung jedes Schiffes auf einer Skala von A bis E bewertet, wobei A die beste Bewertung ist. Erreicht ein Schiff einen CII-Wert, welcher dem Referenz-Wert

entspricht, erfolgt eine Einstufung in die Kategorie C. Das Schiff erfüllt damit die geforderten CO₂ Einsparmaßnahmen. Um diese Einstufung zu halten, muss der CII-Wert jährlich reduziert werden, denn die CII-Regularien sehen eine jährliche Reduzierung der emittierten CO₂ Menge vor. Für den Start im Jahr 2023 wird der Referenz-Wert auf eine Emissionsreduzierung von 5 % gegenüber dem Stand von 2019 festgelegt und dann schrittweise bis 2026 auf 11 % angehoben (vgl. MEPC 2021b; MEPC 2021c; MEPC 2021d).

2. Wie wird sich der CII auf die Schifffahrtsbranche auswirken?

Mit der Verabschiedung von Leitlinien und Instrumenten wie CII, EEXI und SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) arbeitet die IMO daran, den CO₂-Fußabdruck der kommerziellen Schifffahrt zu

verringern. Eine von der Klassifikationsgesellschaft ABS (American Bureau of Shipping) durchgeführte Analyse auf Grundlage von EU-MRV-Daten (EU Monitoring, Reporting and Verification) für 2019 legt nahe, dass 92 % der derzeitigen Containerschifflotte, 86 % der Massengutfrachter, 74 % der Tanker, 80 % der Gastanker und 59 % der LNG-Tanker modifiziert oder umgerüstet werden müssten, um die CII-Kategorie A, B oder C zu erreichen (vgl. Splash 2021).

3. Die Herausforderungen für die Reedereien

Aus den oben genannten ABS-Daten geht hervor, dass eine große Anzahl von Schiffen nachgerüstet werden müsste, um eine unproblematische CII-Einstufung zu erreichen. Je nach technischen Möglichkeiten und Voraussetzungen werden hohe Investitionen notwendig. Finanzielle Entscheidungen in der Schifffahrt werden zukünftig Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit einbeziehen. Die Finanzierung eines Schiffes mit einem schlechten CII-Rating würde das Risiko von InvestorInnen erhöhen, da ein heute mit D eingestuftes Schiff zukünftig zu einem E-Rating abrutschen könnte, weil die CII-Referenz in den kommenden Jahren strenger wird (vgl. Psaraftis & Zis 2021).

Schiffe, die drei Jahre in Folge in die Kategorie D oder einmal in die Kategorie E eingestuft werden, werden verpflichtet einen SEEMP vorzulegen. Darüber hinaus hat die IMO bisher keine ausdrücklichen Strafen für Verstöße gegen die CII-Richtlinien festgelegt. Es wird jedoch vermutet, dass Häfen und Regierungsbehörden Schiffe mit besserer CII-Einstufung beispielsweise mit finanziellen Vorteilen belohnen könnten (vgl. IMO 2020). Dies wiederum wird charternde Unternehmen dazu veranlassen, sich für Schiffe mit besserer CII-Einstufung zu entscheiden, was sich letztlich für die SchiffseignerInnen auszahlen wird. Ein positiver Nebeneffekt für die Reedereien ist der geringere Bedarf an Zertifikaten aus dem europäischen Treibhausgasemissionshandel (ETS). Dadurch sinken die operativen Kosten. In der Zukunft, in der die Welt vermutlich noch umweltbewusster sein wird, möchten charternde Unternehmen und InvestorInnen ihre ökologischen und nachhaltigen Bemühungen hervorheben. Jede Verbindung zu Schiffen mit schlechter CII-Einstufung wird sich in dieser Hinsicht negativ auswirken.

Mit dem CII könnten die Probleme der SchiffseignerInnen also von der Sicherung der Finanzierung bis hin zur Geschäftsanbahnung reichen. Daher werden die SchiffseignerInnen immer auf der Suche nach neuen Möglichkeiten sein, um ihre Einstufung zu verbessern und Aufträge zu erhalten. ExpertInnen vermuten, dass eine mögliche Folge

vereinzelte Verschrottungen vor Ablauf der ursprünglich geplanten Lebensdauer sein können. Aufgrund der aktuellen Auftragslage in den Werften ist allerdings nicht mit einer Knappheit an verfügbarer Tonnage zu rechnen. SchiffsbetreiberInnen, Werften und Zulieferbetriebe arbeiten Hand in Hand an der Entwicklung von Technologien, um Nachhaltigkeitsziele beim Bau von Schiffen zu erreichen. (vgl. Psaraftis & Zis 2021; Psaraftis u. a. 2020).

4. Die Herausforderungen für die Lieferkette

Panos Mitrou, Global Gas Segment Manager bei Lloyd's Register, erklärt, dass im LNG-Segment mehr als die Hälfte der LNG-Tanker im Jahr 2023 nicht in der Lage sein wird, die Einstufungen A, B oder C zu erreichen. Er erklärt, dass diese Schiffe mit alten Technologien ausgestattet seien und eine kostspielige und umfangreiche Nachrüstung benötigten, um zufriedenstellende CII-Einstufungen zu erreichen. Er befürchtet, dass mit den jährlich steigenden CII-Anforderungen immer mehr ältere Schiffe außer Betrieb gesetzt würden und es im LNG-Segment dadurch zu einer Angebots-Nachfrage-Krise kommen würde. Herr Mitrou erklärt, dass trotz vieler neuer Unternehmen im LNG-Schiffbau die wachsende Nachfrage das Angebot bei weitem übersteige. Das daraus resultierende knappe Angebot an CII-konformen LNG-Tankern könnte die Frachtkosten in die Höhe treiben und sich direkt auf die globale Energiewende auswirken, bei der die Welt versuche, mit LNG als Brückentechnologie von Kohle auf erneuerbare Energien umzusteigen (vgl. Mitrou 2022). Eine generelle Knappheit ist angesichts der aktuellen Orderbücher für LNG-Tanker nicht zu erwarten (vgl. Trenz GmbH 2023).

Studien zufolge werden die am wenigsten entwickelten Länder und Inselstaaten am stärksten von den Entwicklungen im Schifffahrtsmarkt betroffen sein. Da sie häufig viele lebenswichtige Güter wie Rohöl, Holz und landwirtschaftliche Erzeugnisse einführen, reagieren sie besonders empfindlich auf steigende Frachtraten (vgl. Psaraftis & Zis 2021). Angesichts der jüngsten Ereignisse wie der Pandemie, dem Unfall der Ever Given im Suez-Kanal, der Containerkrise und des Krieges in der Ukraine, auf den unweigerlich schwere Handelssanktionen westlicher Regierungen und zwischenstaatlicher Gremien folgten und folgen werden, ist die Versorgungskette bereits angespannt. Trotz der Ereignisse ist der CII ein notwendiges Mittel, um die Seeschifffahrt nachhaltig und umweltorientiert aufzustellen.

5. Wie man eine gute CII-Einstufung erhält

Der CII eines existierenden Schiffes wird vom tatsächlichen Kraftstoffverbrauch und der zurückgelegten Distanz beeinflusst. Die anderen Faktoren sind als Konstanten zu sehen. Der Kraftstoffverbrauch selbst ist wiederum vom Betrieb des Schiffes, der technischen Effizienz und dem eingesetzten Treibstoff abhängig.

Es ist den Reedereien freigestellt, welche Maßnahmen sie zur Verbesserung des erreichten CII-Wertes ergreifen. Die IMO empfiehlt einen Mix aus operativen und technischen Maßnahmen, um eine konstant gute CII-Einstufung zu erhalten.

6. Operative Maßnahmen zur Erreichung einer guten CII-Einstufung

Die operativen Maßnahmen stellen einen der Kernpunkte bei der Frage um den Kraftstoffverbrauch und den damit einhergehenden CO₂-Emissionen dar. Der CII-Wert verbessert sich, je länger die Seepassagen werden und je kürzer die Liegezeiten eines Schiffes sind. Dem SEEMP können die Behörden dann entnehmen, wie der Schiffsbetreiber die künftigen Emissionsraten so anpassen kann, dass der ermittelte CII-Wert die Vorgaben erfüllt. Zu den einflussreichsten Maßnahmen zählen die konsequente Verringerung der Schiffsgeschwindigkeit, auch bekannt als Slow Steaming, weil die Leistung in der dritten Potenz mit der Schiffsgeschwindigkeit zunimmt. Wetterrouting und die Instandhaltungsstrategie tragen dazu bei, die Kraftstoffverbräuche zu reduzieren. Wenn die technischen Voraussetzungen es zulassen, ist auch die Wahl des Kraftstoffes eine operative Entscheidung, um den CII-Wert positiv oder negativ zu verändern.

Bei den Charterverträgen muss künftig ein zusätzlicher Passus zwischen den Parteien regeln, wer die CO₂-Emissionen zu verantworten hat. Vertragsvorschläge, wie diese Regelung aussehen kann, wurden von der BIMCO vorgestellt.

7. Technische Standards zur Erreichung einer guten CII-Einstufung

Zu den technischen Maßnahmen zählen alle Veränderungen, die am oder im Schiff vorgenommen werden und damit den Kraftstoffverbrauch verringern. Die Liste der Maßnahmen hierfür ist sehr lang, divers und nicht jede Maßnahme ist für jedes Schiff anwendbar. Sehr verbreitete Maßnahmen sind u.a. die Begrenzung der Motorenleistung, der Austausch des Propellers oder die Außenhautbehandlung mit modernen Antifouling-Beschichtungen, also Farben, die verhindern, dass sich beispielsweise Pocken am Schiff festsetzen. Auch die Nutzung des Windes nimmt an Bedeutung zu. Eine

sehr umfangreiche Liste an technischen und operativen Maßnahmen bietet die MCN-Guideline (vgl. Maritimes Cluster Norddeutschland e.V. 2022).

Zu den radikaleren Maßnahmen gehört der Ersatz eines oder mehrerer Motoren durch ein Hybrid-Batterie-System. Ein Schiff zur Versorgung von Offshore-Installationen, die VIKING PRINCESS, hat nach dem Einbau einer solchen Batterie eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs um 17 % gemeldet (vgl. Wärtsilä 2018).

8. Alternative Kraftstoffe sind der Schlüssel

Bisher wird in der Schifffahrt hauptsächlich ein Rückstandsöl, auch bekannt als Schweröl bzw. ein Derivat aus der Erdölverarbeitung als Kraftstoff eingesetzt. Alternativ dazu ist jeder Kraftstoff, der nicht aus Erdöl besteht. Ein Beispiel ist Erdgas, welches in der Regel als LNG (Liquified Natural Gas) bezeichnet wird. In den Fokus der Nachhaltigkeit rücken aber immer mehr Kraftstoffe, die aus erneuerbaren Energien hergestellt werden können. Dazu gehören die sogenannten „PtX fuels“ (Power to X, das X steht dabei für flüssig oder gasförmig), synthetische Kraftstoffe und biologisch hergestellte Kraftstoffe. Biologisch hergestellte Kraftstoffe entstehen aus Pflanzenresten oder werden aus pflanzlichen Ölen produziert. Die wichtigsten Vertreter, die eine Zukunft in der Seefahrt haben können, sind Methanol, Ammoniak, synthetisches Erdgas, reiner Wasserstoff und die biologischen Erzeugnisse. Allen gemein ist, dass sie aus erneuerbaren Energien hergestellt werden müssen, um die Nachhaltigkeit und damit den CO₂-Fußabdruck positiv zu beeinflussen. Ein weiterer Punkt, der die erneuerbaren Energien vereint ist, dass sie erhebliche Nachteile im Vergleich zu den herkömmlichen Kraftstoffen aufweisen.

Die weiteste Verbreitung unter den alternativen Kraftstoffen hat derzeit LNG, welches wegen seiner fossilen Entstehung aber eher als Brückentechnologie eingeordnet werden muss. Durch den Krieg in der Ukraine entstanden allerdings erhebliche Verwerfungen auf den Energiemärkten und die Preise für LNG haben sich sehr stark erhöht. Dadurch rückt Methanol aufgrund seiner wünschenswerten physikalischen Eigenschaften, seiner hohen Verfügbarkeit und der Tatsache, dass grünes Methanol den Kraftstoff netto emissionsfrei machen würde, immer mehr in den Vordergrund. Das gleiche gilt für die Anwendung von Ammoniak, dabei gibt es aber ungeklärte Probleme in der Handhabung, denn Ammoniak ist giftig. Bisher gibt es noch keine ausreichende Bunker-Infrastruktur für Methanol und Ammoniak. Im Vergleich zu LNG ist die globale Verfügbarkeit noch stark eingeschränkt.

In der Seefahrt wird aufgrund der bisher nicht gelösten Herausforderungen in verschiedenen Richtungen geforscht und entwickelt. Den „einen Kraftstoff“, wie es ihn mit dem Schweröl bis vor einigen Jahren gab, wird es in Zukunft nicht mehr geben. Es wird vielmehr auf einen Energiemix hinauslaufen. Die große Herausforderung ist dabei, die Motoren für verschiedene Kraftstoffe nutzbar zu machen und Lösungen zu schaffen, um verschiedene Kraftstoffe an Bord zu lagern.

Es existiert eine weitere technische Möglichkeit, bei der nicht auf den Einsatz von Schweröl und die damit verbundenen Vorteile verzichtet werden muss. Es handelt sich um das CCS (Carbon Capture and Storage), also die Abscheidung des CO₂ aus dem Abgas und die Speicherung an Bord. Aktuell ist selbst die Rückkehr von nuklearen Antrieben, trotz der damit verbundenen Probleme, nicht mehr ausgeschlossen. Viele Projekte zur Erforschung der nuklearen Technik laufen bereits und werden wieder verstärkt diskutiert.

Im Treibstoff-Sektor liegt sehr viel Potenzial, um die IMO-Emissionsziele zu erreichen. Daher nimmt Kraftstoff eine besondere Stellung im Kampf um eine geringere CO₂-Konzentration in der Luft ein.

9. Der Weg nach vorn

Die Welt verändert sich rasant und wir sehen mit all den technischen und rechtlichen Aspekten einer

Literatur

BSH (2021): Internationales Vermessungsverfahren. Internationales Vermessungsverfahren (ITC'69), online.

Europäische Kommission (2022): Reducing emissions from the shipping sector, online.

IMO (2019a): Fourth Greenhouse Gas Study 2020, online.

IMO (2021): Fourth IMO Greenhouse Gas Study, London.

IMO (2020): IMO Environment Committee approves amendments to cut ship emissions, online.

IMO (2019b): Initial IMO GHG Strategy, online.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis, New York.

Maritimes Cluster Norddeutschland e.V. (2022): The MCN Guideline - Ship Efficiency in the Context of EEDI, EEXI and CII, online.

ungewissen Zukunft entgegen. Die Polkappen schmelzen, Arten sterben aus, und die Wettermuster ändern sich. Die einzige Möglichkeit, die uns bleibt, ist die Umstellung unserer Lebensweise. Wir müssen klug und wachsam sein, um eine Lösung für dieses Problem zu finden, ohne die Welt zu zerstören, bevor die Gelegenheit vorbei ist. Veränderungen sind oft störend, aber es liegt in unserer Verantwortung, den Weg der Nachhaltigkeit zu finden, einzuschlagen und unsere Anstrengungen in die Optimierung durch Forschung und Entwicklung zu stecken, um neue Methoden und Technologien zu entdecken. Wir müssen die weltweite Lieferkette auf nachhaltige Brennstoffe umstellen und Technologien wie künstliche Intelligenz einsetzen, um den Warenverkehr zu optimieren, damit die Kohlenstoffdioxidemissionen gesenkt werden können. Der Transport von Gütern auf dem Seeweg ist jetzt schon die effizienteste und umweltfreundlichste Methode. Die IMO zeigt mit dem CII die Bereitschaft, Verantwortung für eine saubere und zeitgemäße Verfrachtung von Gütern zu übernehmen. Er ist die folgerichtige Entscheidung, um die Schifffahrt auf einen nachhaltigen Kurs zu steuern. Die Rolle des Seetransportes ist auch in Zukunft essenziell und wird so lange weiter erhalten bleiben, wie Güter und Produkte nicht am Verbrauchsort hergestellt oder gewonnen werden können.

MEPC (2021a): Resolution MEPC 336(76), online.

MEPC (2021b): Resolution MEPC 337(76), online.

MEPC (2021c): Resolution MEPC 338(76), online.

MEPC (2021d): Resolution MEPC 339(76), online.

Mitrou, Panos (2022): LNG fleet seriously exposed to CII impact. Lloyd's Register, online.

Psaraftis, Harilaos N. & Zis, Thalys (2021): Impact assessment of a mandatory operational goal-based short-term measure to reduce GHG emissions from ships: the LDC/SIDS case study, online.

Psaraftis, Harilaos N., Zis, Thalys & Halim, Ronald A. (2020): Detailed Impact Assessment of the Mandatory Operational Goal-Based Short-Term Measure, online.

Splash (2021): Will the Carbon Intensity Indicator re-shape the shipping industry?, online.

Trenz GmbH (2023): New Ships Orderbook, online.

Wärtsilä (2018): Innovative energy storage solution for Eidesvik Offshore, online.

AutorInnenangaben

Raghib Raza
FleetMon | Kpler
Hazaribagh, Indien

Rebecca Gerdes
gerdes@fleetmon.com
FleetMon | Kpler
Rostock, Deutschland

Steffen Loest
steffen.loest@hs-wismar.de
Hochschule Wismar
Bereich Seefahrt Anlagentechnik und Logistik
Warnemünde, Deutschland

Carsten Hilgenfeld
hilgenfeld@fleetmon.com
FleetMon | Kpler
Rostock, Deutschland

Ansätze für eine integrierte Raum- und Güterverkehrsplanung am Beispiel der Metropolregion Rheinland

Bert Leerkamp, Andre Thiernemann*, Florian Groß, Philipp Nögel-Verroul, Theo Janßen, Thomas Siefer, Bernd Sewczyk, Roland Busch

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

In der Metropolregion Rheinland besteht der Bedarf nach einer Integration der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung. Dies wird hier durch die Entwicklung engpassbeseitigender Maßnahmen für die Straßen- und Schieneninfrastruktur sowie die Qualifizierung raumverträglicher Logistikpotenzialflächen adressiert. Es ist erkennbar, dass in den zentralen Lagen lediglich ein geringes Angebot an Logistikpotenzialflächen vorhanden ist und somit das bereits erkennbare Ausweichen der Logistikunternehmen auf periphere Standorte planerisch zu vermeiden ist.

Schlagwörter / Keywords:

Güterverkehr, Verkehrsinfrastruktur, Logistikimmobilien, Regionalplanung

1. Einführung¹

Die Metropolregion Rheinland (MRR) ist als zentraler Ballungsraum in Mitteleuropa Standort wichtiger Verkehrsknoten und gleichzeitig international bedeutsamer Wirtschaftsstandort und Absatzmarkt. Die Metropolregion ist gekennzeichnet durch starke Quell- und Zielbeziehungen sowie Transitströme des Güterverkehrs, die zu einer hohen Auslastung und abschnittweisen Überlastung der Straßen- und Schienennetze beitragen und gleichzeitig eine hohe Nachfrage nach Logistikflächen nach sich ziehen, die insbesondere in den Metropolen und ihrem näheren Umfeld kaum noch befriedigt werden kann.

Kreise, Kommunen und weitere regionale Stakeholder wie z.B. IHKs und Handwerkskammern der Region sind im Metropolregion Rheinland e.V. zusammengeschlossen, um den o.g. Herausforderungen gemeinsam zu begegnen. Im dortigen Arbeitskreis Verkehr und Infrastruktur und vor dem Hintergrund der damals anstehenden Fortschreibung des Regionalplans für den Regierungsbezirk Köln, entstand die Idee zur hier

zusammengefassten „Güterverkehrsstudie für das Gebiet der Metropolregion Rheinland“. Das Ziel der Studie, deren wesentliche Ergebnisse im folgenden Beitrag beschrieben werden, ist es, einen Beitrag zur Integration der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung für den Güterverkehr auf der regionalen Planungsebene zu leisten, der mittel- bis langfristig umsetzbare Handlungsansätze für die Lösung von Zielkonflikten aufzeigt, die sich in der MRR zusehends verschärfen.

Federführer und Auftraggeber der Studie war die go.Rheinland GmbH (bis Dez. 2022 Nahverkehr Rheinland GmbH), die als SPNV-Aufgabenträger für den südlichen Teil des Untersuchungsgebietes insbesondere von Konflikten zwischen Güterverkehr und SPNV auf der überlasteten Schieneninfrastruktur in der Region betroffen ist. Aufgrund der begrenzten inhaltlichen und räumlichen Zuständigkeit von go.Rheinland in der Thematik und dem Anspruch, das Thema Güterverkehr in der Region ganzheitlich zu betrachten, wurden die sieben IHKs in der Metropolregion, der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR) als SPNV-Aufgabenträger für den nördlichen Teil

¹ Dieser vorliegende Artikel beinhaltet Forschungsergebnisse und Textbausteine aus Leerkamp et al. 2022

des Untersuchungsgebiets sowie der Metropolregion Rheinland e.V. in einem projektbegleitenden Arbeitskreis eingebunden.

2. Handlungsbedarfe

In der Metropolregion Rheinland ergeben sich vielfältige Handlungsbedarfe im Güterverkehr, die in intensiver Wechselwirkung zur Logistikflächenentwicklung in der Region stehen. Bislang werden diese in der Verkehrs- und Regionalplanung jedoch nicht integriert adressiert. Handlungsbedarfe entstehen aufgrund der erkennbaren Suburbanisierung der Logistikwirtschaft verstärkt und begleitet durch aktuelle Logistiktrends sowie durch eine überlastete Verkehrsinfrastruktur im Straßen- und Schienenbereich.

2.1 Raumstrukturen des Güterverkehrs

Als Grundlage für die weitergehenden Untersuchungsschritte auf der Flächenseite wurde eine Analyse der Raumstrukturen des Güterverkehrs vorgenommen. Dazu wurde u.a. eine Datenbank mit Logistikimmobilienstandorten in der MRR aufgebaut (Verfahren in Anlehnung an Kretzschmar et al. 2021). Zugrunde gelegt wurden hier Flurstücke des Amtlichen Liegenschaftskatasters (ALKIS, Quelle: Geobasis NRW 2020). Die Geodaten der Gebäude wurden zum einen aus den Hausumringen NW (Quelle: Geobasis NRW 2021)² sowie OpenStreetMap (Quelle: OpenStreetMap contributors 2021)³ entnommen. Auf Basis dieser Bestandsflächen wurde für jede Gemeinde der Anteil der Logistikflächen an allen Flächen für Industrie und Gewerbe für das Jahr 2021 berechnet.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis. Es ist erkennbar, dass u. a. im westlich von Köln und Bonn gelegenen suburbanen Raum sowie ganz im Westen des Untersuchungsgebietes (u. a. Raum Mönchengladbach und Aachen) mehrere Gemeinden liegen, die einen sehr hohen Anteil an Logistikflächen besitzen. Gleichzeitig zeigen Untersuchungen des Marktforschungsunternehmens Bulwiengesa, dass in den Metropolen Köln und Düsseldorf seit 2010 70% bzw. 63% der Logistiksiedlungen außerhalb des jeweiligen Kernstadtgebiets entstanden sind (Bulwiengesa 2020). Somit liegen Hinweise vor, dass eine Wanderung der Logistik weg von den Ballungsraumkernen hin zu peripheren Räumen stattfindet, wie sie u. a. auch für Paris und Zürich festgestellt wurde (Dablanc und Rakotonarivo 2010; Todesco 2015).

2.2 Logistiktrends und ihre Auswirkung auf Logistikimmobilien

Neben der Untersuchung der Raumstrukturen wurden Stakeholder der Logistikbranche im Rahmen der Studie nach aktuellen Logistiktrends und deren Auswirkungen auf die Unternehmen und ihre Standortwahl befragt.

Insgesamt zeigt sich, dass das Wachstum der Logistikbranche und die damit zusammenhängende starke Flächennachfrage die jetzt schon erkennbaren Flächenengpässe in der Metropolregion Rheinland in Zukunft weiter verschärfen werden. Dabei wird insbesondere die dynamische Entwicklung des Onlinehandels die Nachfrage nach Standorten für die regionale und überregionale Distribution sowie für die Umschlagszentren der KEP-Branche zukünftig weiter antreiben. Die Logistikunternehmen erwarten entsprechend eine große Nachfrage nach Standorten an den Rändern und zunehmend auch in den Kernbereichen der Großstädte der Region (siehe Abbildung 2).

Die große Flächennachfrage dieser Branche trifft auf Kommunen, die aus durchaus nachvollziehbaren Gründen die Bereitstellung der benötigten Flächen für Logistik nicht gewährleisten können und wollen (dazu auch Aljohani und Thompson 2016). Negative externe Effekte (z.B. großes Verkehrsaufkommen) und eine wahrgenommene zu geringe Arbeitsplatzdichte bewirken, dass die Ausweisung von Ansiedlungsflächen für die Logistik für viele Kommunen unattraktiv ist und kein bedarfsgerechtes Angebot bereitgestellt wird. Dies sorgt dafür, dass Logistikunternehmen auf suboptimale Standorte in periphereren Lagen ausweichen müssen, obwohl sie zentrale Lagen bevorzugen (siehe auch oben).

Die unzureichende Flächenverfügbarkeit wird nach der Überlastung des Straßennetzes als größte Schwäche des Logistikstandorts Rheinland seitens der Unternehmen genannt. Aus Gründen der Kosteneffizienz und der Nachhaltigkeit ist diese Entwicklung kritisch zu sehen, da so die Verlagerung von Verkehren auf Bahn und Binnenschiff erschwert wird, denn Terminals des kombinierten Verkehrs und Häfen befinden sich meist in den Zentren. Zudem verlängern sich Transportwege über die Straße und auch die Erreichbarkeit von Standorten mit dem ÖPNV ist für die Angestellten tendenziell schlechter.

² Gewählte Gebäudetypen: Vorratshaltung, Kühlhaus, Speichergebäude, Lager, Speditionsgebäude

³ Nur Gebäude berücksichtigt, die als Zentrallager oder Logistikzentrum bezeichnet werden.

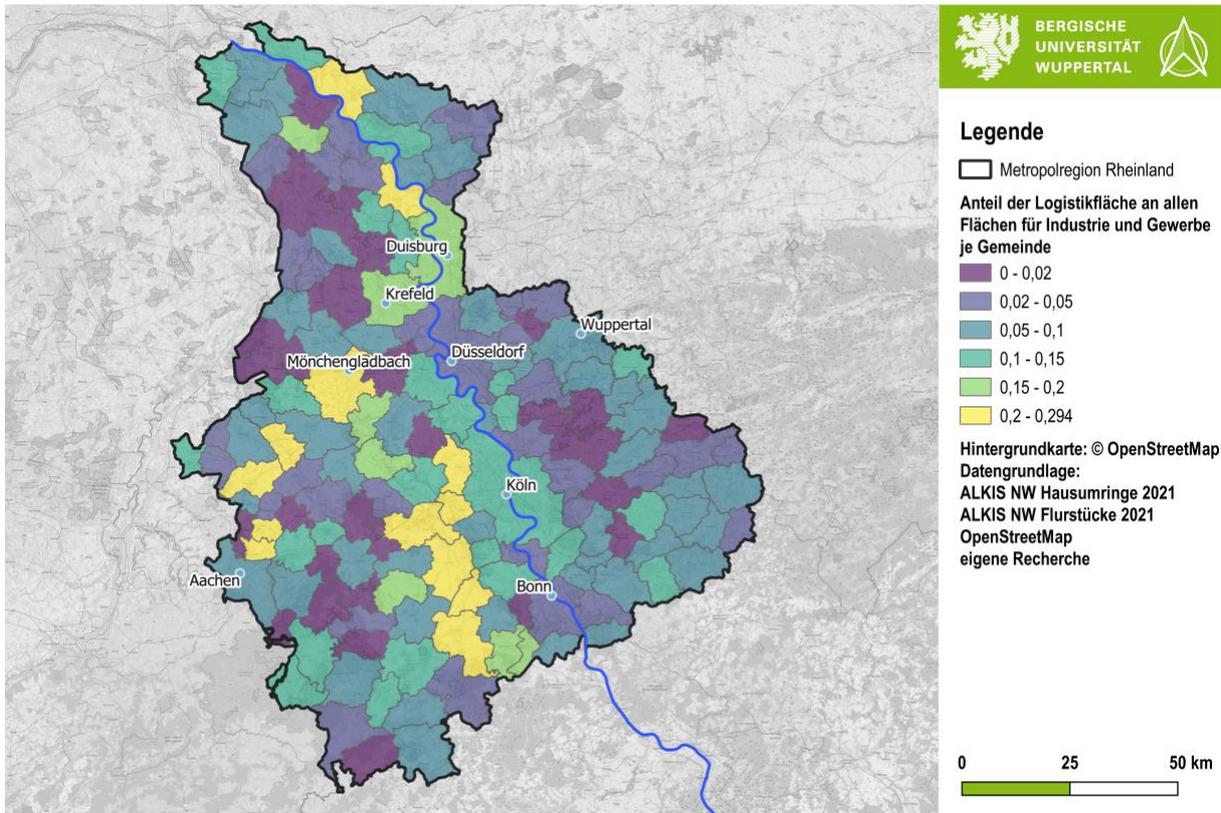


Abbildung 1: Anteil an Logistikflächen an allen Flächen für Industrie- und Gewerbe

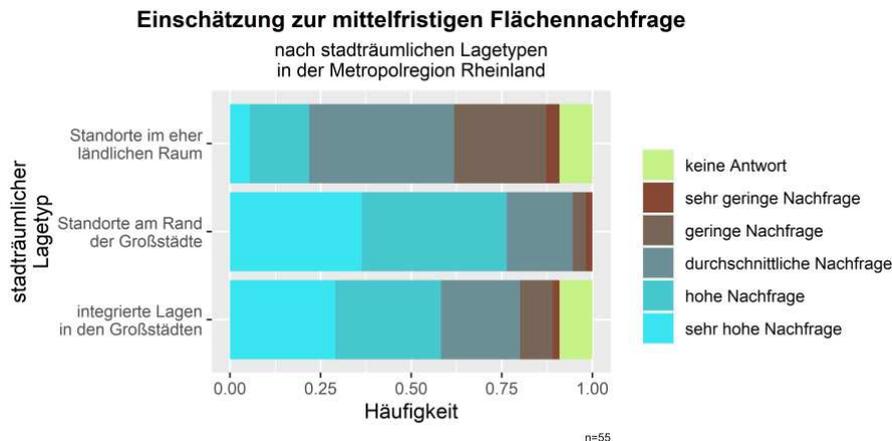


Abbildung 2: Einschätzung zur mittelfristigen Flächennachfrage nach stadträumlichen Lagetypen (N=55)

2.3 Überlastete Verkehrsinfrastruktur

Im Schieneninfrastrukturbereich sind in der Metropolregion Rheinland bereits mehrere Schienenwege vom Eisenbahninfrastrukturunternehmen DB Netz als überlastet erklärt worden, d.h. für diese Abschnitte wurden mehr Trassen angefragt, als zur Verfügung gestellt werden können. Von den Überlastungserklärungen der DB Netz sind neben den Knoten Köln und Aachen auch zwei Strecken mit internationaler Relevanz für den Güterverkehr betroffen (Köln – Aachen, Mönchengladbach – Venlo). Die momentan verfügbaren Kapazitäten der Schieneninfrastruktur genügen demnach bereits im

Bestandsfall nicht überall den verkehrlichen Anforderungen. Auch die Straßeninfrastruktur ist an vielen Stellen überlastet und in schlechtem baulichem Zustand (z.B. Rheinbrücken).

3. Handlungsansätze

Um oben genannte Problemlagen zu adressieren und Perspektiven für die räumliche und infrastrukturelle Entwicklung im Güterverkehr in der Metropolregion aufzuzeigen, wurden in der Güterverkehrsstudie zukünftige Engpässe bei der Straßen- und Schieneninfrastruktur sowie mögliche engpassauflösende Maßnahmen identifiziert, Potenzialstandorte für den kombinierten Verkehr

ermittelt, den Standortanforderungen der Logistik und der Raumverträglichkeit Rechnung tragende mittel- und langfristige verfügbare Logistikflächenpotenziale ermittelt sowie ein raumverträgliches Verkehrsnetz für den Güterverkehr⁴ ausgewiesen.

Ein Beitrag zur Integration der Flächennutzungs- und Verkehrsplanung für den Güterverkehr auf der regionalen Planungsebene erfolgt hierbei insbesondere bei der Ermittlung der Potenzialflächen, bei der die verkehrliche Anbindung eine wichtige Rolle spielte.

3.1 Ermittlung von Potenzialen des kombinierten Verkehrs

Zur Ermittlung noch ungenutzter KV-Potenziale und möglicher Standorte für weitere KV-Terminals wurde unter Berücksichtigung der vorhandenen Terminals in der Region und im angrenzenden Ausland sowie der im Bau befindlichen Anlagen untersucht, wo sich noch KV-affine Unternehmen befinden, die innerhalb einer in der Fachliteratur (u. a. Koch et al. 2020) als Grenze angesehenen Fahrstrecke von 30 km kein KV-Terminal vorfinden.

Für die identifizierten Defiziträume wurden die LKW-Relationen der Verflechtungsmatrix des Bundesverkehrswegeplans 2030 (Quelle: Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH (BVU) et al. 2014), u. a. unter Berücksichtigung der KV-Affinität der Gütergruppen sowie der Paarigkeit des Güteraufkommens, auf potenzielle KV-Relationen untersucht. In allen Räumen konnten Relationen identifiziert werden, die vorbehaltlich tiefergehender Untersuchungen ein KV-Potenzial aufweisen (insbes. in Richtung der Nordseehäfen Antwerpen und Hamburg). Für die ermittelten Defiziträume wurde analysiert, ob Standorte in den Teilräumen überhaupt über einen adäquaten Schienenanschluss verfügen, der den Anschluss eines Terminals ermöglichen könnte.

Im Ergebnis konnte ein Potenzialraum im Westen der MRR (Bereich Mönchengladbach/Erkelenz/Jüchen) für zusätzliche KV-Infrastruktur identifiziert werden.

3.2 Engpassanalyse für die Straße

Als Indiz für die Ableitung von Engpässen im Straßennetz wurde die Auslastungssituation im Straßennetz herangezogen. Anhand der Prognosebelastungen für den mittleren Werktag (Prognosehorizont 2030) wurden unter Ansatz der jeweils hinterlegten Leistungsfähigkeitskennwerte der Strecken Auslastungsklassen bestimmt. Das Straßennetzmodell der Prognose berücksichtigte

gegenüber der heutigen Angebotskonstellation die Planungsmaßnahmen des Bundes (Maßnahmen des BVWP: laufend und fest disponiert sowie vordringlicher Bedarf) und des Landes (Landesstraßenbedarfsplan: Stufe 1). Der Fokus für die Ermittlung wurde hierbei auf die Anbindung der Logistikpotenzialflächen sowie, entsprechend dem regionalen Fokus, auf hochrangige Straßen gelegt.

Im Ergebnis wurden zwölf Straßenabschnitte mit zukünftig potenziellen Engpässen in der MRR identifiziert. Diese konzentrieren sich auf die Bereiche Niederrhein, Wuppertal sowie Köln/Bonn.

3.3 Engpassanalyse für die Schiene

Bei der Engpassanalyse wurden die geplanten Betriebsausweitungen im Personenverkehr u.a. auf Basis der NRW-Zielnetze sowie prognostizierte Zugzahlen im Güterverkehr zugrunde gelegt und ein makroskopisches Schienennetzmodell genutzt. Im Ergebnis wird deutlich, dass zum Zielhorizont 2030 unter Berücksichtigung der bis dahin fertiggestellten Baumaßnahmen allenfalls das für den Personenverkehr geplante Bedienungsangebot realisiert werden könnte. Dieses aber in manchen Abschnitten ohne nennenswerte verbleibende Kapazitätsreserven und damit unter Inkaufnahme einer reduzierten Betriebsqualität. Die parallel dazu erwarteten steigenden Güterzugzahlen wären in einigen Netzbereichen ohne kapazitätssteigernde Maßnahmen kaum mehr fahrbar, d.h. es könnten hierfür keine zusätzlichen marktfähigen Fahrplantrassen mehr angeboten werden.

Angesichts der ermittelten Engpässe wurden Maßnahmen identifiziert, die entweder direkte bauliche Anpassungen an den von einem Engpass betroffenen Strecken bzw. Knotenpunkten umfassen oder die Schaffung von Umfahrungsmöglichkeiten, die eine Entlastung der Engpassbereiche bewirken können, darstellen. Hierbei wurde in drei Kategorien unterschieden:

- fest disponierte bzw. in Umsetzung befindliche Maßnahmen
- Maßnahmen aus dem BVWP 2030 bislang ohne konkreten Realisierungszeitraum, v.a. zur Errichtung von Alternativrouten (zweigleisiger Ausbau Viersen – Venlo)
- Vorüberlegungen für Neu- oder Ausbaustrecken, die zu einer Verbesserung der kapazitiven Situation in Gesamtnetz führen könnten (Nachnutzung RWE-Kohlenbahnen, Revierbahn etc.).

⁴ Hier nicht behandelt, siehe dazu Thiemermann und Holthaus 2023.

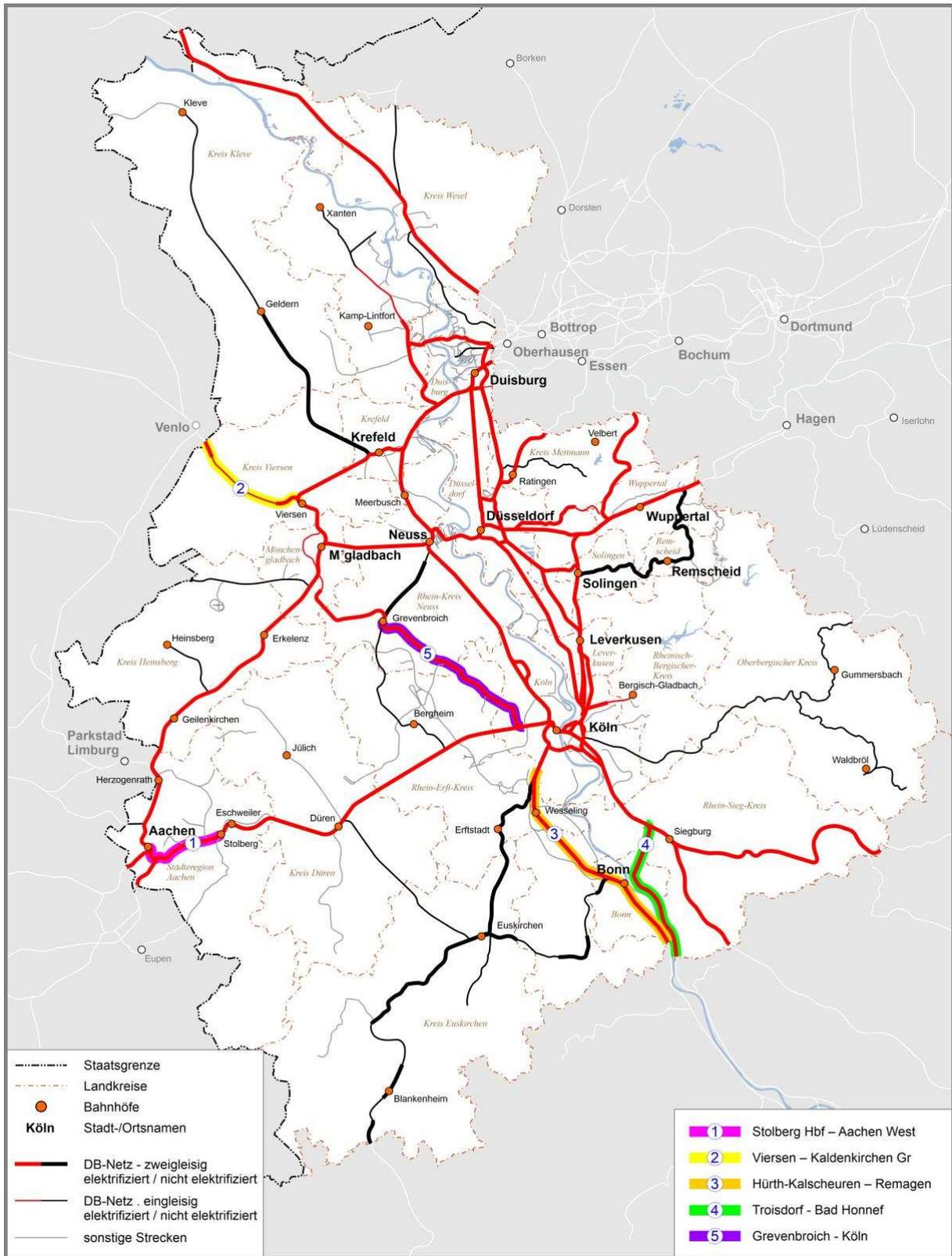


Abbildung 3: erwartete Engpässe im untersuchungsrelevanten Schienennetz für den Planungsraum – Prognose 2030

Tabelle 1: Logistikstandorttypen und wichtigste Standortanforderungen

Standorttyp	Ballungsraumversorgung	Zentralversorgung	Gateway	Industrielle Logistik	Netzwerkfunktion
Funktion (Beispiel)	Regionallager Lebensmittel-einzelhandel	Zentrallager Versandhandel	Importlager des Textileinzelhandels	Logistikzentrum der Automobilindustrie	Paketzentrum
Wichtigste Standortanforderung	Nähe zum Ballungsraum/Oberzentrum	Restriktionsfreie Autobahn-anbindung	Anbindung an Hafen, KV, GVZ	Nähe zu Produktionsstandort	Autobahn-anbindung, Ballungsraum-nähe

Quelle: Veres-Homm et al. 2019

Tabelle 2: Gegenüberstellung Fahrstrecken zwischen Logistikpotenzialflächen und existierenden Logistikstandorten

Vergleich Logistikflächenpotenzial / existierende Logistikstandorte (> 5 ha) im Regionalplangebiet Köln		
Faktor	Logistikpotenzialflächen	Existierende Logistikstandorte
Entfernung Metropole/Regiopole [km] Median	33,9	20,0
Entfernung KV-Terminal [km] Median	24,8	13,6

3.4 Ermittlung des Logistikflächenpotenzials

Zur Ermittlung und Qualifikation der Logistikpotenzialflächen im Untersuchungsraum wurden die in den Regionalplänen (bzw. Planentwürfen) Düsseldorf, Ruhr und Köln festgelegten *gewerblich-industriellen Bereiche* (GIB) untersucht und schrittweise nach verschiedenen Standortfaktoren unter Berücksichtigung der Befragungsergebnisse sowie weiterer Literatur (u. a. Vallée 2012) gefiltert bzw. bewertet:

- vorhandene Flächenbelegung
- Flächengröße (mind. 2 ha als wirtschaftlich sinnvolle Mindestgröße)
- entgegenstehende Planungen der Kommunen
- schützenswerte Nutzungen/Wohnbauflächen im Umfeld (z.B. Kitas, Schulen)
- Flächenzuschnitt und Topografie
- Arbeitskräftepotenzial
- ÖV-Anbindung
- Gewerbesteuerhebesatz
- Bodenpreis
- Lagegunst (z.B. Zugang zu KV-Terminals, Gleisanschlüsse)

- Berücksichtigung prognostizierter Überlastungen auf angrenzenden Autobahnabschnitten

Als Ergebnis wurde ein Bewertungsschema entwickelt, das die Flächenpotenziale jeweils für die u.g. fünf Logistik-Standorttypen (aus Veres-Homm et al. 2019, siehe Tabelle 1) qualifiziert. Die Integration verkehrsplanerischer Aspekte erfolgte dahingehend, dass auch die Entfernung zu relevanten logistischen Knoten (u.a. KV-Terminals) sowie prognostizierte Engpässe auf angrenzenden Autobahnabschnitten berücksichtigt wurden.

In Summe sind 364 Flächen ermittelt worden, die für mindestens einen der fünf Logistikstandorttypen als wertvoll bewertet werden können. Dies entspricht etwa einem Drittel des insgesamt untersuchten Flächenpotenzials.

Nimmt man das Regionalplangebiet Köln als Beispiel, so ist festzustellen, dass der Median der Entfernung zum nächsten KV-Terminal für die identifizierten Potenzialflächen bei 24,8 km liegt, während er bei den existierenden Logistikflächen in etwa bei der Hälfte (13,6 km) liegt (siehe Tabelle 2).

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass die bereits heute existierenden Logistikstandorte (Ermittlung siehe oben) im Schnitt deutlich näher an den Metropolen/Regiopolen⁵ und ebenfalls näher an den

⁵ Entnommen aus der RegioStaR-Klassifikation des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (Sigismund 2018)

KV-Terminals liegen als die Logistikpotenzialflächen – also die Flächen, die in Zukunft noch entwickelt werden können (siehe beispielhaft für das Regionalplangebiet Köln Tabelle 2). Es besteht also eine Diskrepanz zwischen den Standortanforderungen der Logistik – Standorte eher in den Zentren bzw. am Rand der Großstädte (siehe Abbildung 2) – und dem Flächenangebot. Es ist daher absehbar, dass sich das bereits erkennbare Ausweichen der Logistikunternehmen auf periphere Standorte („Suburbanisierung der Logistik“) verschärfen und zu weiteren Fahrstrecken – nicht nur bei der Durchführung von Transporten, sondern auch bei den Wegen der Beschäftigten zur Arbeit – führen wird.

4. Fazit und weiteres Vorgehen

Im Zuge der Güterverkehrsstudie wurden in der Metropolregion Rheinland die Logistikflächennachfrage, regionalplanerische Gewerbeflächenentwicklung und die Verkehrsinfrastrukturplanung des Bundes integriert untersucht. Im Ergebnis wurde herausgearbeitet, dass schon heute Engpässe bei der Bereitstellung von Logistikflächen sowie bei der Straßen- und Schieneninfrastruktur in der MRR existieren, die sich künftig weiter verschärfen werden.

Ein planerisches Aufgreifen der problematischen Entwicklung beim Flächenangebot für die Logistikwirtschaft ist einerseits in Hinblick auf die angestrebte Verkehrsverlagerung von Güterverkehr auf die Schiene, die durch die bereits beschriebene „Suburbanisierung der Logistik“ erschwert wird, geboten. Andererseits ist die Bereitstellung eines adäquaten Flächenangebotes auch für das Funktionieren des Wirtschaftsstandortes notwendig. Die integrierte Betrachtung von verkehrs- und raumplanerischen Aspekten wurde dadurch geleistet, dass bei der Qualifizierung der Flächen die Entfernung zu Gleisanschlüssen, KV-Terminals, aber auch zukünftig überlastete Infrastruktur (Eisenbahnnetz und Autobahnabschnitte) berücksichtigt wurden.

In der Thematik der Infrastruktur zeigt sich insbesondere bei der Schiene eine derart große Auslastung, dass eine weitere Verkehrsverlagerung auf die Schiene derzeit kaum möglich ist. Die in der Studie vorgeschlagenen Maßnahmen können dazu beitragen, die SPNV-Anbindung von Siedlungsschwerpunkten zu verbessern und die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die für eine Anbindung an das Schienennetz geeigneten Logistikpotenzialflächen und möglichen KV-Terminals, eisenbahnbetrieblich mit ausreichender Qualität bedient werden können. Dies ist ein weiterer Grund, warum zukünftig Siedlungsflächen- und Verkehrsnetzentwicklung stärker integriert betrachtet werden sollten.

Nicht zuletzt tragen die formulierten Maßnahmen dazu bei, dass ein Wachstum des Schienengüterverkehrs auf nationaler und europäischer Ebene überhaupt möglich ist, indem sie die zentrale Hinterlandbindung der ZARA-Häfen, die durch die MRR verlaufen, in den Blick nehmen.

Ein Handlungsansatz, zur besseren Verzahnung von Siedlungsflächen- und Verkehrsnetzentwicklung könnte sein, im Regionalplan zukünftig nicht nur Flächen für öffentlich zugängliche logistische Knoten wie KV-Terminals auszuweisen, sondern auch Flächen für private Logistikansiedlungen zu reservieren. Dies geschieht bundesweit bislang nur in Ausnahmefällen (u.a. Region Stuttgart). Dieser Ansatz würde eine bedeutende Ausweitung der planerischen Steuerung auf Regionalplanungsebene in Nordrhein-Westfalen bedeuten, die weitreichende Implikationen von der Notwendigkeit einer Bedarfsermittlung bis hin zu Fragen eines denkbaren Anreizsystems für Kommunen zur Aufnahme von regional bedeutsamen Logistikansiedlungen aufwerfen würde.

Die im Bereich der Schieneninfrastruktur ermittelten Handlungserfordernisse und möglichen Maßnahmen wurden seitens des Auftraggebers go.Rheinland zur weiteren Unterstützung der Forderung nach einem substanziellen Infrastrukturausbau im Rheinland verwendet. Sie verdeutlichen die Wichtigkeit der insbesondere in den Knoten Köln und Aachen bereits intensiv vorangetriebenen Ausbaumaßnahmen nicht nur für den Personen-, sondern auch für den Schienengüterverkehr.

Literatur

Aljohani, Khalid; Thompson, Russell G. (2016): Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: Taxonomy and review of literature. In: *Journal of Transport Geography* 57, S. 255–263. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.08.009.

Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH (BVU); Intraplan Consult GmbH; Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG; Planco Verkehr + Umwelt GmbH Consult GmbH IVV GmbH & Co. KG; PLANCO Consulting GmbH (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030.

Bulwiengesa (2020): Deutschland und seine Logistikregionen. Ramp One-Kompass Logistikimmobilien. Online verfügbar unter <https://www.ramp-one.de/regionen/>.

Dablanc, Laetitia; Rakotonarivo, Dina (2010): The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? In: *Procedia - Social and Behavioral*

Sciences 2 (3), S. 6087–6096. DOI: 10.1016/j.sbspro.2010.04.021.

Geobasis NRW (2020): WFS NW ALKIS Grundrissdaten vereinfachtes Schema. Online verfügbar unter https://www.wfs.nrw.de/geobasis/wfs_nw_alkis_ve_reinfacht?SERVICE=WFS&VERSION=2.0.0&REQUEST=GetCapabilities.

Geobasis NRW (2021): Hausumringe NW. Online verfügbar unter <https://open.nrw/dataset/3f08a580-48ec-43c1-936d-d62f89c21cc9>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

Koch, Joachim; Kocholl, Thomas; Wimmer, Simon (2020): KV-/GVZ-Konzept Niedersachsen. Hg. v. Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung. Railistics GmbH. Hannover.

Kretzschmar, Daniel; Gutting, Robin; Schiller, Georg; Weitkamp, Alexandra (2021): Warenlagergebäude in Deutschland: Eine neue Methodik zur regionalen Quantifizierung der Flächeninanspruchnahme. In: *RAUMFORSCHUNG UND RAUMORDNUNG* 79 (2). DOI: 10.14512/rur.55.

Leerkamp, Bert; Thiernemann, Andre; Groß, Florian; Holthaus, Tim; Janßen, Theo; Stock, Sören et al. (2022): Güterverkehrsstudie für das Gebiet der Metropolregion Rheinland. Endbericht. Hg. v. Nahverkehr Rheinland (NVR). Online verfügbar unter <https://www.nvr.de/regionale-mobilitaetsentwicklung/gueterverkehrsstudie>, zuletzt aktualisiert am 01.09.2022.

OpenStreetMap contributors (2021): Gebäudedatensatz Metropolregion Rheinland. Online verfügbar unter openstreetmap.org, zuletzt aktualisiert am 18.01.2021.

Sigismund, Markus (2018): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) des BMVI für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/reg_iostar-arbeitspapier.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 16.03.2022.

Thiernemann, Andre; Holthaus, Tim (2023): Beispielhafte Anwendung der Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung für den Güterverkehr. In: *Straßenverkehrstechnik* 67 (1). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/367190359_Beispielhafte_Anwendung_der_Richtlinien_fur_

die_integrierte_Netzgestaltung_fur_den_Guterverkehr_In_Strassenverkehrstechnik_Heft_12023.

Todesco, Paolo (2015): Logistische Zersiedlung im Raum Zürich. Verlässt die Logistik die Stadt? Zürich. Online verfügbar unter https://www.espacesuisse.ch/sites/default/files/documents/2015_todesco_paolo_LogistischeZersiedlungZuerich.pdf.

Vallée, Dirk (2012): Leitfaden Logistik. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung (E-Paper der ARL, 16). Online verfügbar unter http://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr16.pdf.

Veres-Homm; Uwe; Wojtech; Annemarie; Richter; Falk et al. (2019): Regional konsolidierte Gewerbeflächenentwicklung (RekonGent). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-11_texte_21-2019_abschlussbericht_rekongent_final_bf_1.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2020.

AutorInnenangaben

Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp
Bergische Universität Wuppertal
Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal
E-Mail: leerkamp@uni-wuppertal.de

Andre Thiernemann
Bergische Universität Wuppertal
Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal
E-Mail: thiernemann@uni-wuppertal.de

Florian Groß
Bergische Universität Wuppertal
Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal
E-Mail: fgross@uni-wuppertal.de

Philipp Nögel-Verroul
go.Rheinland GmbH
Regionale Mobilitätsentwicklung
Glockengasse 37 - 39
50667 Köln
E-Mail: philipp.noegel-verroul@go-rheinland.de

Prof. Dipl.-Ing. Theo Janßen
Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG
Oppenhoffallee 171
52066 Aachen
E-Mail: Jan@IVV-Aachen.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Siefer
IVE - Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und
Eisenbahnwesen mbH
Lützerodestraße 10
30161 Hannover
E-Mail: thomas.siefer@ivembh.de

Dr.-Ing. Bernd Sewcyk
IVE - Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und
Eisenbahnwesen mbH
Lützerodestraße 10
30161 Hannover
E-Mail: bernd.sewcyk@ivembh.de

Dr.-Ing. Roland Busch
Institut für Raumforschung & Immobilienwirtschaft
Dr. Roland Busch, Michael Heinze PartG (IRI)
Chemnitzer Straße 50
44139 Dortmund
E-Mail: busch@iri-dortmund.de

LieferradDA – Erkenntnisse zum Betrieb eines Radlieferdienstes

Johanna Bucerius, Axel Wolfermann, Jan-Marc Joost, Oliver Schocke

Abstract

Am Beispiel des Darmstädter Radlieferdienstes LieferradDA werden Herausforderungen und Lösungsansätze für nachhaltige Radlogistik beschrieben. LieferradDA startete 2020 als Reallabor zur Unterstützung des Einzelhandels (B2C) und verschob den Fokus zunehmend auf die Stadtwirtschaft (B2B). Eine Diskussion der Perspektiven verschiedener Stakeholder, der Wahrnehmung in der Öffentlichkeit und möglicher Organisationsformen zeigen Chancen und Grenzen eines Radlieferdienstes.

Schlagwörter / Keywords:

Lastenradlogistik, Lieferdienst, Nachhaltige Logistik, Wirtschaftsverkehr, transformative Forschung

1. Einführung

Der wachsende Online-Handel, die Belastung von Innenstädten mit Luftschadstoffen und Lärm sowie der menschengemachte Klimawandel sind Herausforderungen, die auch Lösungen im Bereich des Wirtschaftsverkehrs notwendig machen. Seit einigen Jahren wird deshalb wieder vermehrt über City-Logistik gesprochen. Lastenradlogistik wird dabei als ergänzender Bestandteil der City-Logistik verstanden mit der Möglichkeit, diese nachhaltiger zu gestalten (Abbildung 1, vgl. Maes 2017: S.110).

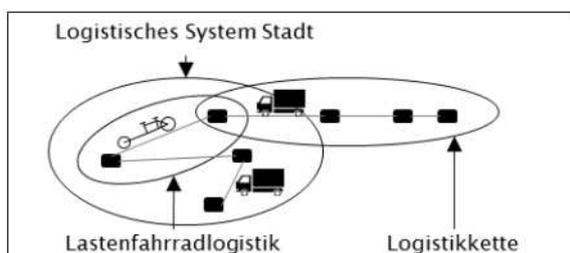


Abbildung 1: Einordnung Lastenradlogistik (Quelle: Assmann et al. 2016: S. 1)

Der Markt hierfür entwickelt sich sehr dynamisch. Elektrisch unterstützte Lastenräder können über 200 kg und 2 m³ transportieren, sind mit Wechselcontainern erhältlich, gibt es in schlanken und flinken zweirädrigen, aber auch robusten und leistungsfähigen drei- und vierrädrigen Ausführungen. Sie bieten deshalb vielfältige Einsatzmöglichkeiten und könnten beträchtliche Anteile der

städtischen Belieferungen übernehmen. Eine Studie des EU-geförderten Projekts CycleLogistics ergab, dass 51 Prozent aller motorisierten Transporte in europäischen Städten auf Lastenräder verlagert werden könnten (CycleLogistics 2013). Eine Studie des Forschungsprojekts ‚RadLast‘ berechnete für die deutschen Städte München und Regensburg ein Potential von 28 %, respektive 37 % des gesamten städtischen Paketaufkommens (Fontaine et al. 2021)

Mittlerweile gibt es vermehrt lokale Initiativen, die jenseits vom Einsatz im Werkverkehr und bei großen Paketdiensten oder im Kuriermarkt, Belieferungen von Gütern als kostengünstige Dienstleistung anbieten möchten. Exemplarisch zu nennen sind hier Kiezbote (Berlin), Radlader (Mainz), Sachen auf Rädern (Frankfurt/Main), Wülivery (Würzburg) oder „Das Rad bringt’s“ (Lüneburg). Hierbei werden sehr unterschiedliche Ansätze verfolgt, sowohl was die Finanzierung, die Organisationsform als auch die Zielgruppen angeht.

Im vorliegenden Artikel soll ausgehend von den Erfahrungen mit dem Radlieferdienst LieferradDA aus Darmstadt beleuchtet werden, welche Zielgruppen lohnenswert erscheinen und welche Anforderungen sie jeweils mit sich bringen (vgl. Conway et al. 2017; Rudolph/Gruber 2017; Schliwa et al 2015).

2. Ein Radlieferdienst als Experimentierraum

Die Idee zu einem Radlieferdienst für Darmstadt entstand 2018 im Rahmen des Forschungsprojektes

„Systeminnovation für nachhaltige Entwicklung“ (s:ne) – einem Forschungsprojekt im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Land Hessen geförderten Bund-Länder-Initiative "Innovative Hochschule". Kernidee war die Unterstützung des lokalen Einzelhandels, der sich mit wachsender Konkurrenz durch den Online-Handel konfrontiert sieht. Eine Unterstützung des Einzelhandels durch einen Lieferdienst, so die Überlegung damals, erhalte zugleich die Attraktivität der Innenstadt und fördere somit nicht nur die lokale Wirtschaft, sondern auch die „Stadt der kurzen Wege“ (Beckmann 2011).

Realisiert werden konnte diese Idee 2020 durch eine Förderung des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen in Folge des ersten Lockdowns zu Beginn der Corona-Pandemie, während dem der nicht-systemrelevante Einzelhandel vom 20. März bis zum 9. Mai 2020 keine Kunden vor Ort empfangen durfte. Drei Ziele wurden mit dem Projekt verfolgt: (1) die Unterstützung des lokalen Einzelhandels, der durch die wachsende Dominanz des Online-Handels und die sinkende Attraktivität der Innenstädte zunehmend unter Druck gerät und gerade während der Lockdowns auf eine Belieferung angewiesen war, (2) die Vermeidung von innerstädtischen Lieferverkehren mit Kfz und die damit einhergehenden Probleme (CO₂-Emissionen, Verkehrsbelastung, Verkehrsbehinderungen), also einen Beitrag zur Verkehrswende zu leisten, und (3) die Schaffung sozialverträglicher Arbeitsplätze für das Personal des Dienstes. Der Anspruch bestand darin, durch das Forschungsprojekt Innovationen auf einer sozialen, technischen und organisationalen Ebene anzustoßen, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Deshalb wurde das Projekt nicht nur von verschiedenen Disziplinen auf Hochschuleseite begleitet (u. a. BWL/Logistik, Verkehrsingenieurwesen, Wirtschaftspsychologie), sondern auch unter Einbindung von den betroffenen Praxisakteuren (insbesondere dem Einzelhandel, der Stadtwirtschaft und städtischer Ämter) entwickelt (ein inter- und transdisziplinäres Vorgehen angelehnt an Jahn et al. 2012).

LieferradDA stellt dabei einen Experimentierraum dar, der innovatives Denken und Handeln ermöglicht, Hemmnisse auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Entwicklung reduziert und es Akteuren ermöglicht, Vorstellungen zu entwickeln, die außerhalb ihrer etablierten Routinen angesiedelt sind.

Seit Juli 2020 bietet LieferradDA einen Radlieferdienst an, der dem Einzelhandel im Darmstädter Stadtgebiet offensteht und eine Belieferung von privaten Haushalten im Stadtgebiet noch am selben Tag ermöglicht. Bestellungen von Einzelhändlern können via Mail per standardisiertem Excel-Dokument oder per Web-Interface an LieferradDA

weitergeleitet werden. Bestellungen, die bis 12 Uhr (im Projektverlauf bis 14 Uhr erweitert) eingehen, werden nachmittags mit unterschiedlichen Lastenfahrrädern ausgeliefert. Transportiert wird alles, was hinsichtlich Volumen und Gewicht mit einem Lastenfahrrad transportiert werden kann, keiner aktiven Temperaturführung bedarf oder besonders erschütterungsempfindlich ist. Da der Lieferdienst als Forschungsprojekt der Hochschulen in Darmstadt und Frankfurt keine Einnahmen verbuchen kann und um eine Beteiligungshürde zu nehmen, ist er für die Kunden kostenlos.

Stand zu Beginn der Einzelhandel im Mittelpunkt (Abschnitt 3), zeigte sich im Projektverlauf, dass mit dem Einzelhandel alleine kaum ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein würde. Deshalb wurden weitere Einsatzbereiche in die Untersuchung einbezogen (Abschnitt 4). Auf diesem Wege wurden unterschiedliche Akteure und ihre Bedarfe analysiert, da von den Akteuren und damit auch den transportierten Gütern und den Anforderungen an Tourengestaltung und Lieferzeiten das Geschäftsmodell abhängt (Abschnitt 6). Hier wurden verschiedene Varianten erwogen und mit den relevanten Akteuren besprochen. In diesem Artikel stehen dabei organisatorische und institutionelle Aspekte und nicht eine detaillierte betriebswirtschaftliche Betrachtung im Vordergrund. Eingegangen wird auch auf die Wahrnehmung des Diensts in der Öffentlichkeit, da dies insbesondere in Hinblick auf die Politik, aber auch die Stadtwirtschaft ein wichtiger Einflussfaktor ist (Abschnitt 5).

3. Lieferdienst für den Einzelhandel

Im Mittelpunkt stand zunächst der Einzelhandel, der durch den Radlieferdienst unterstützt werden sollte. Der Dienst sollte ursprünglich nur die Lieferung vom Handel zu privaten EndkundInnen übernehmen. Um eine leicht nachvollziehbare räumliche Abgrenzung festzulegen, wurde als Liefergebiet das Stadtgebiet von Darmstadt festgelegt. Der Dienst sollte zunächst organisatorisch möglichst einfach gehalten werden. Die Auftragsabwicklung erfolgte zu Beginn deshalb per E-Mail durch den Einzelhandel. EndkundInnen mussten die Ware beim Einzelhandel bestellen und bezahlen und hatten mit dem Lieferdienst direkt nur durch die Auslieferung Kontakt. Für den Einzelhandel kamen verschiedene Vertriebswege in Frage: Online-Plattform, Bestellung und Bezahlung im Geschäft, Bestellung telefonisch/per E-Mail o. Ä. und Bezahlung auf Rechnung oder durch Vorkasse.

3.1 Akteursanalyse Einzelhandel

Mit einer Akteursanalyse sollten die Geschäfte identifiziert werden, die für den Lieferdienst besondere Relevanz haben könnten. Hierzu gehört,

ihre Bedürfnisse zu verstehen, aber auch die Frage zu beleuchten, wie sie langfristig zum Erfolg des Lieferdienstes beitragen könnten (Stakeholder Management, vgl. De Vincente Lopez/Matti 2016).

In der initialen Projektphase konnte – auch unter Mitwirkung des Citymarketing Darmstadt e. V. als Multiplikator – eine große Bandbreite an EinzelhändlerInnen erreicht werden. Im Rahmen dieser Akquise wurden Interviews geführt, um die Bedarfe und Anforderungen an einen lastenradbasierten Lieferdienst zu erfragen. Die Befragung des lokalen Einzelhandels zu Projektbeginn im März 2020 ergab eine Klassifizierung von beteiligten und interessierten Unternehmen in folgende Segmente mit spezifischen Anforderungen und Einstellungen (vgl. Stahl et al. 2021).

Inhabergeführter Einzelhandel

Solche meist kleinen inhabergeführten Geschäfte werden durch den Online-Handel unter großen Druck gesetzt. In der Regel besitzen sie keinen Online-Shop und sind auf Lauf- oder Stammkundschaft angewiesen. Hier besteht bei vielen Interesse an einer Zusammenarbeit mit LieferradDA. Grundsätzlich können die inhabergeführten Geschäfte ihre Prozesse schnell anpassen und so neue Serviceleistungen wie die Lieferung durch LieferradDA in ihre Geschäftsmodelle integrieren. Meist ist der persönliche Kundenkontakt jedoch von starker Bedeutung. Der Lieferdienst soll diesen Kontakt also nur ergänzen und nicht ersetzen. Er ist also vor allem für große oder schwere Güter und solche, die nicht vorrätig sind, relevant.

Inhabergeführter Einzelhandel mit mehreren Filialen

Hierbei handelt es sich in der Regel um größere Unternehmen, die oft bereits einen eigenen Onlineshop besitzen und Belieferungen mit herkömmlichen KEP-Dienstleistern oder über eine eigene Belieferung anbieten. Bei einigen dieser Unternehmen besteht ein grundsätzliches Interesse an der Zusammenarbeit mit LieferradDA. Die meist starke lokale Verankerung führt zu einer Identifikation mit dem Lieferdienst, für eine Nutzung werden daher auch teilweise Änderungen in den eigenen Prozessen in Kauf genommen. Allerdings steht der Dienst in Bezug auf Kosten und Serviceerwartung in Konkurrenz zu etablierten Paketdienstleistern.

Einzelhandel mit Preisbindung (Buchhandel)

Gerade der Buchhandel steht durch den Online-Handel unter starkem Druck. Das Interesse an Lieferungen durch LieferradDA ist hoch. Allerdings ist es für den lokalen Buchhandel schwierig, Lieferungen bei den Kunden einzupreisen oder zusätzliche Kosten zu erheben, da Onlinebestellungen schon heute möglich und meist kostenlos sind. Trotz dieser Vertriebswege sind einige Buchhandlungen bereit,

zusätzlich die Belieferung über den als persönlicher und umweltfreundlicher wahrgenommenen Radlieferdienst anzubieten. LieferradDA kooperierte sowohl mit inhabergeführten Geschäften als auch mit Ketten.

Einzelhandel mit besonderen Anforderungen an Dokumentation und Transport (z. B. Apotheken)

Auch Apotheken stehen zunehmend unter Druck durch den Online-Handel. Viele bieten bereits eine Lieferung an. Da beim Transport und der Auslieferung von Medikamenten besondere gesetzliche Anforderungen zu erfüllen sind (z. B. Temperatur, Datenschutz, Dokumentation), manche Medikamente sehr wertvoll sein können und vor der Aushändigung eine Beratung angeboten werden soll, sind nur wenige Apotheken bereit, die Belieferung an Dritte zu vergeben. In jedem Fall ist das Personal für solche Lieferungen zu schulen und die Transportboxen müssen (zumindest für längere Touren) isoliert und besonders diebstahlgeschützt sein.

Größere Einzelhandelsketten

Diese Unternehmen bewegen große Warenmengen und sind an feste Prozesse gebunden. Sie sind i. d. R. nicht an lokalen Kooperationen interessiert, sondern bevorzugen einheitliche Lösungen für den ganzen Konzern.

Lebensmittelhandel (LEH)

Sollen alle Produkte des LEH transportiert werden, ist die Kühlkette einzuhalten. Dies stellt kein grundsätzliches Hindernis dar, erfordert bei längeren Touren gerade im Sommer jedoch eine sorgfältige Planung. Ohne aktive Kühlung (die Sonderausstattungen der Fahrräder erfordert) können nur kurze Touren gefahren werden. Der LEH kann auch schnell zu großen Auftragsvolumina führen, was einerseits eine Stärke ist, andererseits jedoch hohe Anforderungen an die Skalierbarkeit des Dienstes stellt. Und nicht zuletzt ist die Serviceerwartung sehr hoch, was eine professionelle Logistik voraussetzt. Voraussetzung für die Belieferung ist auch, dass im LEH die Lieferungen im Geschäft kommissioniert werden müssen. Nicht allen Händlern steht hierfür Personal zur Verfügung. Beispielsweise zeigten sich lokale Obst- und Gemüsehändler offen für die Belieferung, jedoch nicht für die Kommissionierung. Auch Hofläden können eine interessante Zielgruppe sein, befinden sich jedoch häufig dezentral, was durch die erhöhte Tourlänge Lieferungen mit dem Rad erschwert. Hier kann eine Mikro-Depot-Lösung interessant sein.

Essenslieferungen von der Gastronomie an EndkundInnen

Diese müssen direkt zugestellt werden und eignen sich daher nicht für eine gebündelte Zulieferung per Lastenrad. Hier bestehen auch bereits zahlreiche

spezialisierte Anbieter. Deshalb wurde die Gastronomie nicht als Zielgruppe betrachtet.

Zahlungsbereitschaft

Befragungen des Einzelhandels zu den Rahmenbedingungen einer Lastenradbelieferung ergeben bezüglich der Zahlungsbereitschaft für den Dienst ein heterogenes Bild. Die EndkundInnen sind meist eine kostenlose oder zumindest sehr günstige Belieferung gewöhnt. Die meisten Geschäfte sehen eine Weitergabe der Kosten an die EndkundInnen deshalb kritisch. Manche Händler sind jedoch bereit, selbst die Kosten der Belieferung zu übernehmen. Allerdings ist in den wenigsten Fällen eine Zahlungsbereitschaft der Händler über die marktüblichen Preise der KEP-Dienstleister hinaus zu erkennen. Gerade bei Waren mit geringem Wert (z. B. Bücher) stellen die erforderlichen Lieferkosten einen signifikanten Anteil am Gesamtpreis dar. Ein Buchhändler nahm für die Belieferung mit LieferadDA einen Aufpreis von € 0,99, was von vielen KundInnen trotz kostenloser Alternative gewählt wurde, allerdings nicht die Kosten deckt.

3.2 Akteursanalyse der EmpfängerInnen

Für eine Analyse der Bedarfe in der Darmstädter Bevölkerung nach einem lastenradbasierten Lieferdienst konnte auf verschiedene Erhebungen durch das Darmstädter Bürgerpanel zurückgegriffen werden. Das Bürgerpanel ist eine Beteiligungsplattform der Hochschule Darmstadt, über die in regelmäßigen Abständen Befragungen der BürgerInnen in Darmstadt laufen.

In diesem Bürgerpanel wurde die Einkaufsmobilität der DarmstädterInnen bereits 2019, d.h. vor der Corona-Pandemie, thematisiert (vgl. Bürgerpanel 2019) und das Einkaufsverhalten sowie Interesse an einem lokalen Onlineshop von knapp 600 Teilnehmenden erfragt. Dabei stand auch die Nutzung und das Interesse an Lieferdiensten im Fokus. Diese Umfrage ergab, dass 80 % der Befragten die Belieferung per Lastenrad präferierten. Bei den Produktkategorien, die sich die Befragten liefern lassen würden, war die Nachfrage bei Drogerieartikeln (59 % waren an einer Lieferung interessiert), Büchern und Printmedien (58 %) und Baumarktartikeln (46 %) am höchsten. 65 % der Befragten wären bereit, für eine solche umweltfreundliche Lieferung einen Aufpreis zu bezahlen. Die ermittelte durchschnittliche Zahlungsbereitschaft lag bei rund € 3,40. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen einer studentischen Umfrage unter 79 Einkaufenden in der Darmstädter Innenstadt aus dem Jahr 2020. In dieser Befragung gaben 75 % der Befragten an, bevorzugt einen Lieferdienst per Lastenrad nutzen zu wollen. Bei der Zahlungsbereitschaft für ein solches Angebot wurde ein durchschnittlicher Wert von € 3,50 ermittelt.

Eine weitere Umfrage des Bürgerpanels wurde von Juni bis Juli 2020 durchgeführt (vgl. Bürgerpanel 2020). Unter dem Einfluss der Corona-Pandemie zeigte sich bei den 730 Teilnehmenden aus Darmstadt eine deutliche Änderung des Einkaufsverhaltens. So gab ein Großteil der Teilnehmenden an, seltener stationär einzukaufen und die Einkäufe stärker zu planen. Weiterhin beabsichtigten deutlich weniger Personen als zuvor, ihre Einkäufe mit dem Pkw zu reduzieren. Die Nutzung von Onlineshops und Lieferdiensten nahm dagegen spürbar zu. Kombiniert mit dem unter den Lockdowns und Corona-Restriktionen leidenden lokalen Einzelhändlern zeigte sich somit ein verstärkter Bedarf für einen Radlieferdienst, der dann im Sommer 2020 auch gestartet wurde.

Eine detaillierte Analyse der Nutzendimensionen auf Seiten der Empfänger wurde im Rahmen einer Masterarbeit erarbeitet. In dieser wurde der wahrgenommene Nutzen und die Nutzungsabsicht bezüglich LieferadDA bei 125 DarmstädterInnen erhoben (vgl. Buller 2022). Unter Zuhilfenahme des Technology Acceptance Model wurden individuelle Nutzungseinstellungen modelliert, um das Verhalten der KundInnen genauer verstehen zu können. In diesem Modell wird zwischen der Nutzenwahrnehmung, der Nutzungseinstellung (der positiven oder negativen Bewertung eines Objektes) und der Nutzungsabsicht (der Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Handlung auszuführen) unterschieden. Diese werden durch verschiedene Nutzendimensionen beeinflusst, siehe Abbildung 2 (vgl. Davis et al. 1989: S. 985).

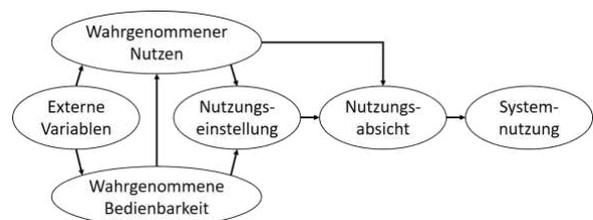


Abbildung 2: Technology Acceptance Model (in Anlehnung an Davis et al. 1989: S. 985)

Dabei wurde das von Sweeney und Soutar entwickelte 4-Nutzendimensionen-Modell – wie auch in den Arbeiten von Hartl et al. sowie Hamari et al. – für LieferadDA um die Dimension Ökologie erweitert (vgl. Sweeney/Soutar 2002: S.212; Hamari et al 2016: S. 2059), siehe Abbildung 3.

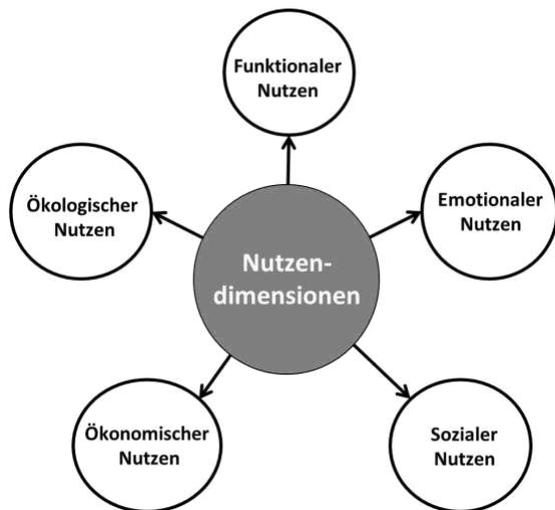


Abbildung 3: Nutzendimensionen LieferradDA (Quelle: Buller 2021)

Die erfassten Fragebögen wurden auf interne Konsistenz überprüft, anschließend optimiert und mit einer Regressionsanalyse ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass die Nutzungsabsicht am stärksten von der sozialen Dimension geprägt ist. Diese steht für die Wahrnehmung, welche ein Produkt oder eine Dienstleistung auf das soziale Umfeld der EmpfängerInnen ausübt. Gleichzeitig war die Bewertung dieser Dimension bezüglich LieferradDA am geringsten. Als Handlungsempfehlungen leitet sich aus dieser Erkenntnis die Stärkung des Markenkerns und mehr Sichtbarkeit von LieferradDA ab. Die emotionale Nutzendimension, also das Entstehen positiver Empfindungen während des Nutzungserlebnisses (also der Belieferung nach Hause), zeigte den zweithöchsten Einfluss auf die Nutzungsabsicht und wurde durchschnittlich bewertet. Eine Stärkung der emotionalen Nutzenwahrnehmung, beispielsweise über eine bessere Darstellung der Nachhaltigkeit und der damit verbunden positiven Gefühle, würde die Nutzungsabsicht von LieferradDA erhöhen. Die Analyse der funktionalen Nutzendimension (also welchen Vorteil man aus der Belieferung zieht) und der ökologischen Nutzendimension ergaben einen geringeren Einfluss auf die Nutzungsabsicht. Weiterhin wurden diese Dimensionen mit Bezug auf LieferradDA bereits positiv bewertet. Die ökonomische Nutzendimension hat in der Erhebung kaum signifikanten Einfluss auf die Nutzungsabsicht gezeigt. Die ökonomische Nutzenwahrnehmung (gemeint ist ein möglicher individueller Kostenvorteil durch den Dienst) ist zwar leicht positiv, hat aber nur geringen Einfluss auf die Nutzungsabsicht. Die Ergebnisse sind in der Nutzen-Einfluss-Matrix dargestellt (Abbildung 4; vgl. Martilla/James 1977: S.78).

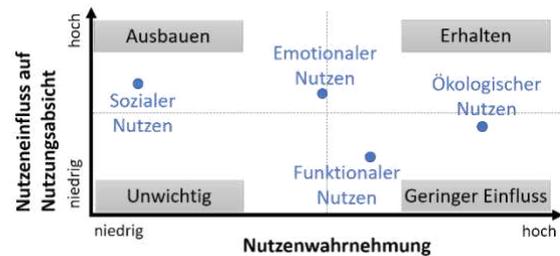


Abbildung 4: Nutzen-Einfluss-Matrix LieferradDA (Quelle: Buller 2021: S. 50))

Darüber hinaus zeigten sich zwischen der Nutzungseinstellung und der Nutzungsabsicht signifikante Unterschiede. So verfügten die Befragten über eine deutlich positivere Nutzungseinstellung, als dass sie tatsächlich die Absicht verfolgen, LieferradDA zu nutzen. Diese sogenannte Attitude-Behavioural-Intention-Gap (Shaw et al. 2016) für die Nutzung von LieferradDA lässt sich auch bei anderen ökologischen Produkten oder Dienstleistungen oft beobachten (Boenigk et al. 2019). Dieser „Gap“ erklärt, warum LieferradDA in der Presse einen großen positiven Zuspruch erfährt (vgl. Abschnitt 5), die Nachfrage bei EndkundInnen jedoch gering und nur schwierig zu steigern ist. Dies unterstreicht, dass die in den anderen Befragungen genannte Zahlungsbereitschaft und Nutzenerwartung nicht nur vor der mangelnden Repräsentativität der Befragungen sehr zurückhaltend bewertet werden sollte. Es zeigt aber auch das Potenzial, das ein Radlieferdienst hat, wenn er funktional und ökonomisch überzeugen kann und mit zunehmender Bekanntheit auch im gesellschaftlichen Umfeld positiv konnotiert ist.

Die im Technology Acceptance Model genannte „wahrgenommene einfache Bedienbarkeit“ wurde in der Thesis von Buller nicht weiter untersucht, da sie nicht in dem Einflussbereich von LieferradDA liegt. Die Empfänger bestellen über die Händler, nicht jedoch direkt bei LieferradDA. Gespräche des LieferradDA-Teams mit Empfängern legen jedoch nahe, dass hier die fehlenden Online-Shops bei lokalen Händlern eine hohe Hürde sind. Ein Lieferdienstkonzept für den lokalen Einzelhandel ist also immer im Zusammenhang mit den Bestellmöglichkeiten und damit einem Online-Shop zu sehen. Hier sind weitere Untersuchungen wünschenswert.

3.3 Zwischenfazit

Der Betrieb eines (anfänglich kleinen) Lastenradlieferdienstes ist, bei Anstellung des Personals, durch hohe Fixkosten charakterisiert. Bis auf die variablen Kosten der Tourenplanungssoftware sind dann alle Kosten Fixkosten (>95%). Über 70% machen die Personalkosten aus, rund 15% werden durch Fuhrpark und Wartung verursacht. Hierbei sind allerdings recht hohe Kosten für Customer Relations Management und allgemeine Verwaltung

eingepplant, die je nach Geschäftsmodell reduziert werden könnten. Für wettbewerbsfähige Kosten pro Paket ist deshalb eine gleichmäßig hohe Auslastung des Dienstes nötig. Im Fall von LieferradDA kann ab einer Paketmenge von etwa 100 Sendungen pro Tag und bei einem angenommenen Marktpreis von im Mittel 4,50 Euro/Paket eine Kostendeckung erreicht werden. Dieses Sendungsaufkommen wurde bisher nur im Weihnachtsgeschäft erreicht. Die Nachfrage nach zu versendenden Paketen ist zudem sowohl innerhalb der Woche als auch im Jahresverlauf stark schwankend. Stark beeinflusst wird die Bilanz auch durch das Liefergebiet. Je höher die Bevölkerungsdichte und je kompakter das Liefergebiet, desto einfacher ist ein wirtschaftlicher Betrieb zu erreichen. Darmstadt ist durch entfernt gelegene Vororte und eine starke Nord-Süd-Ausdehnung geprägt, was lange Anfahrten durch schwach besiedelte Gebiete zur Folge hat. Dieser Effekt wäre bei hohem Sendungsaufkommen durch Aufteilung der Touren oder ggf. Mikro-Depots in den entfernt gelegenen Stadtteilen aufzufangen. Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen jedoch, dass hierfür die Sendungsmengen noch erheblich über den 100 Sendungen am Tag liegen müsste.

Was in den Zahlen nur schwer zu erkennen ist, sind die hohen Transaktionskosten, die durch die vielen Händler und Nachfragen zu den einzelnen Aufträgen, entstehen. Voraussetzung für einen effizienten Betrieb ist hier eine nahtlose und verlässliche Abwicklung über Software, damit beispielsweise Kundendaten nicht händisch übertragen werden müssen und Kundenwünsche direkt im System hinterlegt werden können. Eine solche Lösung, die Schnittstellen zu den Systemen der Händler, der Online-Shops und der Tourenplanungssoftware bis hin zum Routing für Kuriere erfordert, muss entweder an die lokalen Bedürfnisse angepasst werden oder ist für einen kleinen Lieferdienst zu teuer.

Eine Nachfrage, die einen eigenwirtschaftlichen Betrieb ermöglicht hätte, wurde aus dem Geschäftsmodell B2C in den 2,5 Jahren Betrieb nicht erreicht. Eine Schlussfolgerung ist, dass der Problemdruck bei einem großen Teil des Einzelhandels selbst zu Pandemiezeiten nicht so groß zu sein schien, dass sich Investitionen in einen Lieferdienst gelohnt hätten. Auch zeigt sich, dass die Serviceerwartungen an den Lieferdienst bei umsatzstarken Geschäften hoch sind, was bereits von Beginn an eine professionelle Umsetzung mit den damit einhergehenden Investitionen erfordert.

4. Erweiterung der Zielgruppe

Durch den Wertewandel in der Gesellschaft und die zunehmenden Anforderungen an Unternehmen, ihre Emissionen zu reduzieren, zeigten sich von

Beginn des Projekts an Darmstädter Unternehmen, darunter auch solche der Stadtwirtschaft, interessiert, LieferradDA zu nutzen. Dazu gehörten Bürogroßhandel, Unternehmen mit Botendiensten, Unternehmen der Wertstoffverwertung, aber auch Schulen und Kindertagesstätten, die mit Essen beliefert werden. Zahlreiche Pilotversuche zeigten hier Potential. Da Transporte in diesem Umfeld deutlich besser planbar sind und teilweise eine ausreichende Zahlungsbereitschaft vorhanden war, wurde dieser Bereich im Projektverlauf näher untersucht.

4.1 Unternehmen der Stadtwirtschaft

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt verfügt, wie andere Städte auch, über zahlreiche Beteiligungen an Unternehmen, die Aufgaben der Daseinsvorsorge wahrnehmen. Insbesondere sind hier der Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen (EAD), die HEAG mobilo als Mobilitätsdienstleister und die bauverein AG als Unternehmen der Immobilienwirtschaft zu nennen. Neben den wirtschaftlichen Zielen dieser Beteiligungen verfolgt die Stadt auch die Umsetzung ihrer Nachhaltigkeitsziele auf diesem Weg. So wurden in den letzten Jahren über Beteiligungen Mehrwegbecher für die Gastronomie und Kulturveranstaltungen eingeführt (HEAG FairCup), eine stadteigene App um Anreizsysteme für nachhaltiges Mobilitätsverhalten erweitert (Klimaherzen in der „Darmstadt im Herzen App“), die energetische Gebäudesanierung vorangetrieben und die Flotte des städtischen Verkehrsunternehmens verstärkt auf Elektrofahrzeuge umgestellt (HEAG/Wissenschaftsstadt Darmstadt 2021). Die Förderung eines Radlieferdienstes liegt somit im Interesse der Stadt, was auch durch die Übernahme der Schirmherrschaft durch den Oberbürgermeister ausgedrückt wurde (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2021).

Diese Unternehmen transportieren auch lastenradtaugliche Güter. Beispielsweise wird Geschäftspost zwischen verschiedenen Standorten transportiert, was auch auf Ämter der Stadt zutrifft. Diese Touren finden regelmäßig statt und sind damit gut planbar. Da sie aktuell vorwiegend mit Kraftfahrzeugen und eigenem (z. T. teurem) Personal umgesetzt werden, sind hier Kosteneinsparungspotenziale durch die Ausgliederung in einen Lastenradlieferdienst erkennbar. LieferradDA übernimmt deshalb seit einigen Monaten erfolgreich manche dieser Touren. Erweiterungen sind möglich. Diese Touren sind zwar i. d. R. nicht zeitkritisch, aber müssen mit internen Prozessen abgestimmt werden und finden deshalb vormittags statt. Eine Bündelung mit anderen Transporten ist von der Transportmenge problemlos möglich.

Ein weiterer Bereich, der aktuell erfolgreich erprobt wird, sind Essenslieferungen von Großküchen an

Schulen und Kindertagesstätten. Hier eignen sich große Lastenräder hervorragend. Anspruchsvoll sind diese Touren, da sie zu festgelegten Zeitpunkten und auf kürzestem Weg erfolgen müssen. Synergien mit anderen Touren sind deshalb nur schwer möglich. Die Wirtschaftlichkeit hängt davon ab, ob die Lieferung alternativ mit nicht voll ausgelastetem Personal und ohnehin vorhandenen Fahrzeugen erfolgen kann oder nicht. Zu den Kundengruppen zählen hierbei nicht nur die Stadtwirtschaft, sondern auch private Einrichtungen.

Einen Sonderfall stellt der Transport von Wertstoffen (z. B. Altglas, Kork, Batterien) dar. In der Regel erfordert dies separate Container für die Lastenräder, um Verunreinigungen und Geruchsübertragungen zu verhindern. Schwerlastenräder mit Wechselcontainern eignen sich deshalb sehr gut. Eine Bündelung mit anderen Transporten ist jedoch nur eingeschränkt möglich.

Der Nutzen für die Stadt ergibt sich zum einen auch hier aus Kosteneinsparungen, da Fahrzeuge der Entsorgungsbetriebe meist sehr groß und teuer sind, zum anderen, weil die Recyclingquote gesteigert werden kann. Beispielsweise kann durch gezielte Abholungen bei der Gastronomie oder bestimmten Geschäften verhindert werden, dass bestimmte Wertstoffe im Restmüll entsorgt werden. Auch Sammelstationen in der Fußgängerzone können mit Lastenrädern leicht und ohne größere Beeinträchtigung des Fußverkehrs erreicht werden.

Der Aufbau eines solchen Dienstes erfordert enge Absprachen und vorbereitenden Organisationsaufwand. Beispielsweise müssen geeignete Behälter besorgt werden, die Kunden müssen informiert und motiviert werden, den (für sie kostenlosen) Dienst zu nutzen, Tourenhäufigkeit und Routen müssen optimiert werden. Gerade in sensiblen Bereichen wie der Fußgängerzone kann auch die Kombination von Lastenradtransporten zu einer Sammelstelle, die von Müllfahrzeugen angefahren werden kann, vielversprechend sein. Dadurch können die Tourenlängen mit den Rädern reduziert und die Stoppdichte erhöht werden. Lastenfahräder können hier ihre Stärke ausspielen und Fahrten mit Kraftfahrzeugen verkürzen oder ersetzen.

4.2 Privatwirtschaft (B2B)

Lohnenswert könnten für einen Lieferdienst auch Unternehmen der Privatwirtschaft sein, die andere Unternehmen mit Waren versorgen. Zu nennen ist beispielsweise der Bürowarengroßhandel. Hier ist entscheidend, wo sich die Lager des Großhandels befinden, da sich eine Umladung auf dem Weg vom Lager zu den Kunden nur dann lohnt, wenn zahlreiche Kunden in einem mit dem Lkw schwer oder (ggf. zu bestimmten Zeiten) gar nicht zu erreichenden kompakten Gebiet liegen. Transporte dieses Großhandels werden sich auch nur zum Teil

mit Lastenrädern transportieren lassen (z. B. kleinere und spontane Nachbestellungen von Büromaterial). Allerdings können hier Schwerlastenräder mit großem Volumen (bis zu 2 m³) und hoher Zuladung (>150 kg, entspricht knapp 11 Kartons mit je 2500 Blatt Druckerpapier A4) eine wichtige Rolle spielen.

4.3 Chancen durch eine Neuausrichtung

Ein großer Vorteil des B2B-Geschäfts ist die Regelmäßigkeit von Touren, die die Planbarkeit des Personaleinsatzes erleichtert und eine gleichmäßige Auslastung ermöglicht. Die Touren- und Routenplanung muss nur einmalig vorgenommen werden. Es ist damit auch weniger Kommunikation mit den Kunden erforderlich, was die Transferkosten senkt. Die Kosten können auf Stundenbasis abgerechnet werden, so dass ein Teil des Auslastungsrisikos an die Auftraggeber weitergegeben werden kann. Die bislang erprobten Kooperationen könnten somit eigenwirtschaftlich übernommen werden, womit der dauerhafte Betrieb des Diensts möglich ist.

Eine Kombination mit B2C-Touren ist jedoch nur in wenigen Fällen möglich. Die Synergieeffekte zwischen B2B- und B2C-Geschäft sind deshalb überschaubar. Allerdings können durch diesen Markt bereits Fixkosten getragen werden, die Lieferungen im B2C günstiger und damit attraktiver machen.

5. Öffentliche Wahrnehmung

Der Radlieferdienst wird von der Öffentlichkeit sehr positiv wahrgenommen. Während der 2,5 Jahre Projektlaufzeit wurden jedes Jahr mehrere Artikel in der Lokalpresse veröffentlicht, mehrere Beiträge in Rundfunk und Fernsehen ausgestrahlt und zahllose Kommentare in Sozialen Medien verbreitet, die ausnahmslos positiv berichteten.

Insbesondere die Schwerlastenräder sind ideale Werbeträger (Abbildung 5, auch dies übrigens eine Vermarktungsmöglichkeit) und führen zu vielen Gesprächen vor Ort. Es zeigt sich aber auch, dass das Personal eine hohe Verantwortung für die Wahrnehmung des Diensts trägt, beispielsweise durch rücksichtsvolles Fahren und Abstellen der Räder.



Abbildung 5: Schwerlastenrad als Werbeträger (Autor: Hochschule Darmstadt/Ewald Breit)

Es zeigte sich, dass die Politik einen solchen Dienst gerne als Aushängeschild nutzt. Neben der Schirmherrschaft durch den Oberbürgermeister wurden z. B. auch während der Corona-Lockdowns öffentlichkeitswirksam Tablets für Schulen transportiert (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2020).

6. Möglichkeiten des langfristigen Betriebs

6.1 Organisationsformen

Aufgrund des Starts als Hochschulprojekt mit Förderung durch das Land Hessen gehörte LieferradDA automatisch zur Hochschule Darmstadt und der Frankfurt University of Applied Sciences. Die Mitarbeitenden bekommen Hochschulverträge und sind auch über die Hochschulen versichert. Zentrale Administration zur Abwicklung der Personalverträge und Kommunikation konnte genutzt werden. Der neutrale Status als wissenschaftliches Projekt hat insbesondere in der Anfangsphase dazu geführt, dass die Einzelhändler schnell bereit waren, den Lieferdienst zu testen und weiterzuempfehlen. Allerdings wurde er auch als stark studentisch getragenes Projekt (die meisten Mitarbeitenden waren Studierende) – und nicht als professionelles Unternehmen – wahrgenommen. Insbesondere wurde er nicht als gemeinsames Projekt gesehen, sondern als Hochschulprojekt. Dieser Mangel an „Ownership“ führt auch dazu, dass der Transfer in eine dauerhaft tragfähige und wirksame Innovation für Stadt und Gesellschaft bislang nicht erfolgreich war.

Als gefördertes Hochschulprojekt kann der Lieferdienst zudem keine Einnahmen verbuchen oder Rechnungen stellen. Deshalb war der Dienst von Beginn an kostenlos. Dies war anfänglich hilfreich, da das günstige Angebot gerne angenommen wurde und mit vielfältigen Akteuren zusammengearbeitet werden konnte. Allerdings konnte so die tatsächliche Zahlungsbereitschaft nicht überprüft werden.

Um den Dienst von einem Transferprojekt in einen von der Förderung unabhängigen Betrieb zu überführen, wurden verschiedene Ansätze untersucht. Die einfachste Möglichkeit wäre, dass LieferradDA von einem Betreiber (z. B. einem Radlogistikunternehmen einer anderen Stadt) übernommen wird. Allerdings konnte bislang kein Betreiber gefunden werden.

Als Alternative wurde ein gemeinnütziger Verein in Betracht gezogen. Dieser könnte die Nachhaltigkeitsziele und den Nutzen für Stadt und Gesellschaft sicherstellen und die dafür erforderlichen Akteure unter einem Dach vereinen. Auch die Fortsetzung als Reallabor könnte so gesichert werden. Der Dienst selbst lässt sich allerdings nicht durch einen gemeinnützigen Verein betreiben, da er auch wirtschaftliche Interessen

verfolgt, die vom Finanzamt nicht als gemeinnützig anerkannt werden.

Erforderlich ist deshalb ein Wirtschaftsunternehmen, wofür sich eine GmbH oder UG, als kleine Schwester der GmbH, anbietet. Die Ausrichtung dieser Gesellschaft hängt maßgeblich von den Gesellschaftern ab. Viele Ziele, die auch mit einem Verein verfolgt werden können, ließen sich z. B. bei Beteiligung der Stadt auch auf diesem Weg realisieren. Allerdings rückte die langfristige Profitabilität in den Vordergrund. Für LieferradDA bedeutet dies die Fokussierung auf den B2B-Bereich, da nur mit diesem bislang ein eigenwirtschaftlicher Betrieb möglich ist.

6.2 Spannungsfeld Wirtschaftsunternehmen vs. Treiber nachhaltiger Stadtentwicklung

LieferradDA begann als Transferforschungsprojekt, um Innovationen im Bereich nachhaltiger Entwicklung anzustoßen. Es sollten sowohl der Einzelhandel und damit die Stadt(teil)zentren gestärkt, nachhaltige Mobilität gefördert und sozialverträgliche Arbeitsbedingungen geschaffen werden. Durch das Gelegenheitsfenster der Förderung des Aufbaus eines Lieferdienstes übernahmen die Hochschulen eine deutlich aktivere Rolle (Change Agent), als im Rahmen einer transdisziplinären Erarbeitung von Problemlösungsstrategien von der einschlägigen Forschung als sinnvoll angesehen wird (Hilger/Rose/Wanner 2018). Umgekehrt ergab sich ein deutschlandweit einmaliges Reallabor, um den Einsatz eines Lastenradlieferdienstes zu erproben.

Das Projekt stand dadurch von Anfang an in einem Spannungsfeld: einerseits erwarteten die Kunden einen professionellen Dienstleister und war erklärtes Ziel einen dauerhaften und damit wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen; andererseits war die Ausrichtung des Dienstes offen und wurde im Laufe des Projekts angepasst. Die Wirtschaftlichkeit war hierbei nur ein Ziel von mehreren. Sein Potenzial für eine nachhaltige Entwicklung der städtischen Logistik kann der Dienst vor allem dann entfalten, wenn er in gewissem Maß als Experimentierraum bestehen bleibt und nicht nur einer Profitmaximierung untergeordnet wird. Dies setzt eine aktive Beteiligung der Stadt (ggf. über die Stadtwirtschaft) voraus. Ein langfristiger Betrieb erfordert aber auch, dass sich die Hochschulen aus ihrer aktiven Rolle lösen und nur noch eine begleitende Funktion übernehmen. Einem Forschungsprojekt ist der Dienst jedenfalls entwachsen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags ist die Zukunft des Dienstes noch nicht abschließend geklärt.

6.3 Übertragbarkeit

Die im Rahmen von LieferradDA gewonnenen Erkenntnisse sind, wie bei Reallaboren generell,

natürlich von individuellen Randbedingungen abhängig. Die Entwicklung des Lieferdienstes war nicht nur von den Akteuren auf Seite der Hochschule und dem Verhalten der Mitarbeitenden geprägt, sondern auch von Schlüsselakteuren der Stadtwirtschaft, der Politik, der Presse und nicht zuletzt des Einzelhandels. Diese Rollenkonstellation kann in anderen Städten natürlich ganz anders aussehen.

Dennoch lassen sich die grundsätzlichen Erkenntnisse bezüglich der Akteursgruppen und der Organisationsformen und damit auch der Schlussfolgerungen sicherlich gut auf andere Städte übertragen.

7. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Radlieferdienst sehr positiv von allen Betroffenen und Interessierten wahrgenommen wird. Die Kunden haben eine positive Grundeinstellung zu regionalen Lieferdiensten und nachhaltigen Belieferungsformen. Es zeigt sich aber, dass nur in einem sehr kleinen Kundensegment eine erhöhte Zahlungsbereitschaft in stated preference Befragungen erkennbar ist. Der Einzelhandel ist kaum bereit, mehr als konventionellen Paketdiensten zu zahlen (mit denen zum Teil zudem Volumenverträge bestehen, die für einen lokalen Dienst kaum wirtschaftlich darstellbar sind). Der Paketpreis für Lastenradbelieferungen sollte sich deshalb an den Preisen der großen Paketdienstleister orientieren. Zudem muss die Bedienungsfreundlichkeit sehr hoch sein, da sonst ein Großteil der Kunden nicht bereit ist, den Extraaufwand für die Bestellung auf sich zu nehmen. Letzteres liegt jedoch nicht in der Hand des Lieferdienstes, sondern der teilnehmenden Händler.

Das Interesse des stationären Einzelhandels an einen lokalen Lieferdienst ist begrenzt. Viele der Händler verfügen über keinen eigenen Internetshop, scheuen den damit verbundenen Aufwand oder sehen darin keinen für sie lohnenswerten Vertriebswert. Ohne Online-Shop ist die Nachfrage jedoch gering, da KundInnen ohnehin ins Geschäft kommen müssen und dann auch die Ware in aller Regel direkt mitnehmen. Da der Versand per Lastenrad kein festes Standbein für die Einzelhändler ist, ist die Nachfrage stark schwankend und gewährleistet keine kontinuierlich gleichmäßige Auslastung der Lastenräder.

Stadtwirtschaftliche Unternehmen bietet dagegen ein größeres Potential. Sie haben ein hohes Interesse an nachhaltigen Auslieferungen, zeigen eine höhere Zahlungsbereitschaft und können teilweise Kosten sparen, da Touren mit Fachpersonal und Spezialfahrzeugen vermieden werden können. Kostenersparnisse können sich auch dadurch

ergeben, dass kein eigenes Personal für Transportdienstleistungen vorgehalten werden muss oder Personal stattdessen für Kernaufgaben eingesetzt werden kann.

Da nachhaltige Logistik häufig auch in Lärmaktions-Klimaschutz- und Luftreinhalteplänen verankert ist, ist auch von Seiten der Politik und Verwaltung Interesse vorhanden, Radlogistikkonzepte zu unterstützen. Nachteilig ist, dass längst nicht alle Großstädte über Fachpersonal im Bereich der Logistik und Wirtschaftsverkehre verfügen. Zuständigkeiten können deshalb unklar sein und die Bereitschaft, Aufgaben zu übernehmen und Risiken zu tragen ist begrenzt.

An das Team des Radlieferdienstes werden hohe Erwartungen gestellt. Selbst bei kostenlosen Belieferungen wird ein professionelles Auftreten erwartet und die Akzeptanz von Fehlern ist gering. Auch kann es schwierig sein, Kuriere zu finden.

Das Geschäftsmodell wurde aufgrund der Erfahrungen von B2C-Auslieferungen auf B2B-Auslieferungen umgestellt. War der Radlieferdienst gestartet, um den stationären Einzelhandel während der Lockdowns zu unterstützen, ließ sich der Lieferbetrieb bei einem geringen und schwankendem Paketaufkommen jedoch nicht kostendeckend darstellen. Das B2B-Geschäft hat sich dagegen als vielversprechender und kostendeckend dargestellt. Es bietet verlässliche Touren, die die Planung des operativen Geschäfts vereinfachen und eine gleichmäßige Auslastung gewährleisten.

Mit dieser stabilen Basis ist es möglich, den Lieferdienst flexibel erweitern zu können und somit auch weiterhin als Experimentierplattform für Radlogistik zu nutzen.

Dadurch, dass der Lieferdienst nicht als Beteiligungsprozess aus einem gemeinsamen Problemverständnis heraus entwickelt und als Gemeinschaftsprojekt umgesetzt wurde, sondern die Hochschulen neben der wissenschaftlichen Begleitung auch die Rolle der Betreibenden übernahmen, blieb die Frage des langfristigen Betriebs bis zuletzt ungeklärt. Dafür liegen nun vielfältige Praxiserfahrungen vor, die eine gezieltere Ausrichtung des Lieferdienstes ermöglichen.

Als größte Herausforderung bleibt, den Dienst in ein Wirtschaftsunternehmen zu überführen, was nicht die Profitmaximierung zum Ziel hat, sondern die Nachhaltigkeit von Warentransporten fördert.

Danksagung

Das Projekt LieferradDA wurde ermöglicht durch großzügige Förderung des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. Es entstand und wurde begleitet im Rahmen des Projekts „Systeminnovation für Nachhaltige Entwicklung (s:ne)“, einem vom Bundesministerium

für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Land Hessen geförderten Projekts im Rahmen der Bundesländer-Initiative "Innovative Hochschule". Die AutorInnen danken allen, die das Projekt unterstützt, mit Leben gefüllt und zu den hier zusammengefassten Erkenntnissen beigetragen haben, insbesondere den Studierenden der Hochschule Darmstadt und der Frankfurt University of Applied Sciences.

Literatur

Assmann, T.; Barnowski, D; Behrendt, F. (2016): Intelligente Lastenfahrradlogistik, Konferenzbeitrag, 21. Magdeburger Logistiktag.

Beckmann, Klaus J.; Gies, Jürgen; Thiemann-Linden, Jörg; Preuß, Thomas (2011). Leitkonzept - Stadt und Region der kurzen Wege. Gutachten im Kontext der Biodiversitätsstrategie: Umweltbundesamt (Texte 48/2011). Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4151.pdf>.

Boenigk, Michael; Ulrich, Susanne; Georg, Dominik (2019): Einflussfaktoren der Nutzung von Sharing-Services. In: Marcus Stumpf (Hg.): Digitalisierung und Kommunikation. Konsequenzen der Digitalen Transformation Für Die Wirtschaftskommunikation. Wiesbaden: Springer VS (Europäische Kulturen in der Wirtschaftskommunikation Ser), S. 349–367.

Buller, Enrico (2022): Wahrgenommener Nutzen und Nutzungsabsicht bei regionalen Lieferdiensten – am Beispiel von LieferradDA. Masterarbeit. Hochschule Darmstadt, Darmstadt.

Bürgerpanel (2019): Befragung zu einem lokalen Online-Shop in Darmstadt. Hochschule Darmstadt. <https://buergerpanel.h-da.de/>

Bürgerpanel (2020): Befragung zur Corona-Pandemie. Hochschule Darmstadt. <https://buergerpanel.h-da.de/>

Conway, A. et al. (2017). Cargo Cycles for Local Delivery in New York City: Performance and Impacts. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 90–100.

CycleLogistics (2013): Potential to shift goods transport from cars to bicycles in European cities. Projektbericht. Online verfügbar unter: <https://backend.orlis.difu.de/server/api/core/bitstreams/2439a743-fd81-42c4-8435-e373d8a9be24/content>.

Davis, Fred-D./Bagozzi, Richard-P./Warshaw, Paul-R. (1989): User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models, in: *Management Science*, 35. Jg., H. 8, S. 982–1003

De Vicente Lopez, Javier and Matti, Cristian (2016): Visual toolbox for system innovation. A resource book for practitioners to map, analyse and facilitate sustainability transitions. *Transitions Hub Series*. Climate-KIC, Brussels 2016. ISBN 978-2-9601874-1-0.

Fontaine, Pirmin; Minner, Stefan; Geier, Konstantin; Rautenstraß, Maximiliane; Rogetzer, Patricia; Moeckel, Rolf; Llorca, Carlos (2021): Potenziale für Lastenradtransporte in der Citylogistik. *RadLast Leitfaden*. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/buendnis-fuer-moderne-mobilitaet-leitfaden-potenziale-lastenradtransporte-citylogistik.pdf>.

Hamari, Juho; Sjöklint, Mimmi; Ukkonen, Antti (2016): The sharing economy: Why people participate in collaborative consumption. In: *J Assn Inf Sci Tec* 67 (9), S. 2047–2059. DOI: 10.1002/asi.23552.

HEAG/Wissenschaftsstadt Darmstadt (2021): *Beteiligungsbericht der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Geschäftsjahr 2021*.

Hilger, A., Rose, M. & Wanner, M. (2018): Changing Faces - Factors Influencing the Roles of Researchers in Real-World Laboratories. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 27(1), 138–145. <https://doi.org/10.14512/gaia.27.1.9>.

Jahn, Thomas; Bergmann, Matthias; Keil, Florian (2012): Transdisciplinarity: Between mainstreaming and marginalization. In: *Ecological Economics* 79, S. 1–10. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.04.017.

Maes, J. (2017). *The Potential of Cargo Bicycle Transport as a Sustainable Solution for Urban Logistics*. Dissertation Antwerpen

Martilla, John-A.; James, John-C. (1977): Importance-Performance Analysis, in: *Journal of Marketing*, 41. Jg., H.1, S77-79

Rudolph, C., Gruber, J. (2017). Cargo Cycles in Commercial Transport: Potentials, Constraints, and Recommendations. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 26–36.

Schliwa, G. et al. (2015). Sustainable City Logistics — Making Cargo Cycles Viable for Urban Freight Transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50–57.

Shaw, Deirdre; McMaster, Robert; Newholm, Terry (2016): Care and Commitment in Ethical Consumption: An Exploration of the 'Attitude–Behaviour Gap'. In: J Bus Ethics 136 (2), S. 251–265. DOI: 10.1007/s10551-014-2442-y.

Stahl, Jana; Steinpilz, Simon; Bersch, Ann-Kathrin; Wolfermann, Axel; Bucerius, Johanna; Schocke, Kai-Oliver (2021): Abschlussbericht Lastenradbelieferung Darmstadt LieferradDA.

Sweeney, Jillian C.; Soutar, Geoffrey N. (2001): Consumer perceived value: The development of a multiple item scale. In: Journal of Retailing 77 (2), S. 203–220. DOI: 10.1016/S0022-4359(01)00041-0.

Wissenschaftsstadt Darmstadt (2021): „Rückenwind für LieferradDA“, Pressemitteilung der Stadt vom 19.5.2021.

Wissenschaftsstadt Darmstadt (2020): „Wissenschaftsstadt Darmstadt und Hochschule Darmstadt kooperieren bei Auslieferung von 2000 Tablets für die Darmstädter Schulen“, Pressemitteilung der Stadt vom 12.11.2020

AutorInnenangaben

Prof. Dr. Johanna Bucerius
Hochschule Darmstadt
Max-Planck-Straße 2
64807 Dieburg
E-Mail: johanna.bucerius@h-da.de

Prof. Dr. Axel Wolfermann
Hochschule Darmstadt
Schöffersstraße 3
64295 Darmstadt
E-Mail: axel.wolfermann@h-da.de

Jan-Marc Joost, M.A.
Goethe-Universität Frankfurt am Main
Theodor-W.-Adorno-Platz 6 | 60329 Frankfurt am Main
E-Mail: joost@geo.uni-frankfurt.de

Prof. Dr. Oliver Schocke
Frankfurt University of Applied Sciences
Nibelungenplatz
60318 Frankfurt
E-Mail: schocke@fb3.fra-uas.de

Förderung kleiner und auf Niedrigwasser optimierte Binnenschiffe

Roland Frindik

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Die BMDV-Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe hatte neben einer Prognose des Bedarfs der deutschen Binnenschiffahrtsflotte und den technischen Möglichkeiten beim Neu- und Umbau insbesondere die Aspekte der Förderung untersucht. Dieser Artikel erörtert die bestehenden Fördermaßnahmen in Deutschland und im benachbarten Ausland und die sich daraus ergebenden Ableitungen für potenzielle Fördermaßnahmen.

Schlagwörter / Keywords:

Binnenschiffahrt, Förderung, Niedrigwasser

1. Einführung

Die Binnenschiffahrt hatte im Jahre 2021 eine Transportmenge von 195 Millionen Tonnen transportiert, was einen Anteil von rund 5% am Modal Split darstellt (vgl. destatis Verkehr aktuell 01/2023). Dennoch darf nicht auf eine nachrangige Bedeutung geschlossen werden. Das Binnenschiff ist ein Massenverkehrsmittel, welches für wesentliche Teil der Industrie und des Handels ein unverzichtbares Rückgrat darstellt. Zudem ist die Umweltbilanz je transportierter Tonne bei der Binnenschiffahrt vergleichsweise günstig. Dennoch unterliegt sie sich verändernden Randbedingungen. Hierzu zählen die natürlichen Gegebenheiten wie insbesondere der schwankende Wasserstand auf den freifließenden Flussabschnitten, die sich mit dem Auswirkungen des Klimawandels in Form von häufiger werdenden Niedrigwasserperioden negativ auswirken. Hierzu zählt aber auch sich verändernde Märkte hinzu zu hochwertigen Konsumgütern und kleinteiligeren Versandmengen sowie das zunehmende Alter von Partikulieren und kleinen Schiffen. Die Binnenschiffahrt muss sich auf diese Entwicklungen einstellen, um bestehende Märkte halten und Neue erschließen zu können. Angesichts der hohen Kosten für Neu- und Umbau der Binnenschiffe und des begrenzten Kapitals der Binnenschiffer stellt sich der Bedarf einer Förderung durch die öffentliche Hand. Die Ausgestaltung einer Förderung spielt dabei eine

entscheidende Rolle, um ohne Marktverzerrung die Binnenschiff für die Zukunft zu sichern.

2. BMDV-Studie

Das Bundesministerium für Verkehr (BMDV e.h. BMVI) hatte von Juni 2018 bis April 2019 den Masterplan Binnenschiffahrt in Zusammenarbeit mit dem Binnenschiffahrtsgewerbe und zahlreichen anderen Beteiligten erarbeitet. Eine Maßnahme im Masterplan Binnenschiffahrt wurde wie folgt definiert: „Das BMVI wird eine wissenschaftliche Untersuchung zur Prüfung des Bedarfs (ggf. auch Neubau und/oder „Alt-für-Neu-Regelung“), der technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Machbarkeit sowie des nötigen Umfangs einer Förderung für kleine und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe in Auftrag geben. Anschließend erfolgt eine Prüfung, inwieweit Förderprogramme des Bundes genutzt bzw. verzahnt werden können.“ Die Studie wurde von MARLO Consultants GmbH, DST, und Planco 2021 und 2022 bearbeitet. Die Studie umfasste hinsichtlich der deutschen kleineren und/oder konstruktiv optimierten Binnenschiffe die Analyse der Ausgangssituation, die Prognose des Bedarfs, den technischen Möglichkeiten beim Neu- und Umbau, die wirtschaftliche Bewertung und insbesondere die Aspekte der Förderung (Erfahrungen bisheriger Förderprogramme in Deutschland und in Nachbarländern, Art und Weise, Förderempfänger). Die Studie wurde dem Beirat des

Masterplans Binnenschifffahrt vorgelegt. Das BMDV wird in der Folge entscheiden, welche Fördermöglichkeit umgesetzt wird.

3. Ausgangssituation der Flotten und Tendenzen

Die Anzahl der Schiffe mit einer Kapazität von bis zu 1.500 Tonnen, gleichermaßen auf Gütermotorschiffe und Tankschiffe, ist von 810 im Jahr 2010 auf 612 im Jahr 2021 zurückgegangen. Durch die erwartete Fortsetzung der bisherigen Entwicklung wird die Flotte 327 im Jahr 2030 betragen, da sowohl die kleinen Schiffe als auch deren Schiffseigentümer in einem gehobenen Alter befindlich sind und beim Ruhestand des Eigners mangels Nachwuchs aus dem Bestand scheiden. Adäquate Neubauaktivitäten sind ohne Förderung nicht zu erwarten.

Die Gesamtzahl der Einzelfahrer ist von 1336 im Jahr 2010 auf 1.170 im Jahr 2021 weniger stark zurückgegangen. Damit hat die Zahl mittlerer und großer Schiffe (>1.500 Tonnen), vor allem bei den Tankschiffen, zugenommen. Zurzeit werden 30 konstruktiv optimierte Gütermotorschiffe mit einer Kapazität von mehr als 2.500 Tonnen entwickelt und gebaut, wobei bis 2030 bis zu 98 voraussichtlich eher größere Schiffe mit einem Anteil deutscher Eigner von 30 Schiffen zu erwarten sind. Zugleich werden einzelne Schubbootkonzepte zur Verbesserung der Niedrigwassertauglichkeit angegangen werden.

4. Bedarf nach kleinen und konstruktiv optimierten Binnenschiffen

Aufgrund Beschränkungen durch Schleusenabmessungen und Abladetiefen wie etwa im Kanalnetz kommt kleineren Schiffen eine größere Bedeutung zu. Dabei liegt die durchschnittliche Fahrweite kleiner Schiffe im Gesamtnetz mit 371 km. kleinen Binnenschiffen transportieren vor allem die Gütergruppen Düngemittel, Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, andere Nahrungs- und Futtermittel sowie Steine u. Erden. Mit den kleinen Schiffen werden knapp 35 Millionen Tonnen (12,5%) des für das Jahr 2030 prognostizierten Güterverkehrsaufkommens der Binnenschifffahrt von 278 Millionen Tonnen transportiert und der Anteil kleiner Schiffe an den Schiffsbewegungen beträgt 27,7%. Hieraus resultiert ein Schiffsbedarf von rund 1.700 kleinen Binnenschiffen mit einer Tragfähigkeit bis zu 1.350 Tonnen. Bei kleinen Schiffen wird ein Defizit von 179 Schiffen im Jahr 2030 in der deutschen Flotte erwartet. Bei Wasserständen wie im Niedrigwasserjahr 2018 nimmt das Defizit auf 209 Schiffe zu.

Gerade für größere Schiffe sind mit dem Niedrigwasser starke Ladungsbeschränkungen verbunden. Zugleich haben große Schiffe und Schubverbände auch bei Niedrigwasser Kostenvorteile pro transportierter Tonne gegenüber

kleineren Schiffen. Damit ist eine Anpassung der Schiffsgrößenklassen im Zusammenhang mit dem Niedrigwasser nicht zu erwarten. Konstruktiv optimierter Schiffe werden vor allem bei Transporten von Rohstoffen und Waren mit großen wiederkehrenden Transportvolumen wie Mineralöl, Erz, Chemischen Erzeugnissen und Containern eingesetzt, bei denen die Versorgungssicherheit eine große Bedeutung für die Wirtschaft hat, angestrebt wird. Bei einer Unterschreitung der kritischen Abladetiefe von 1,60 m an mehr als 30 Tagen über ein Jahr nimmt die Beeinträchtigungen für die Versorgungssicherheit und damit der Handlungsdruck zum Einsatz konstruktiv optimierter Schiffe stark zu. Für die Verlagerung der Verkehre auf konstruktiv optimierte Schiffe entsteht ein Bedarf von 27 konstruktiv optimierten Schiffen über 3.000 Tonnen im Jahr 2030 in der deutschen Flotte, was 10% des Gesamtbedarfs entspricht, Der dominante Teil wird unter fremde Flagge, insbesondere der niederländischen, fallen. Für konstruktiv optimierte Schiffe im Donauverkehr fehlen vielfach die wirtschaftlichen Grundlagen und damit der Bedarf.

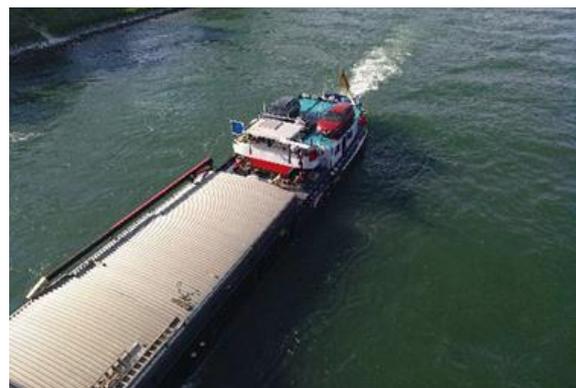


Abbildung 1: eigene Aufnahme des Autors

4. technische Maßnahmen beim Um- und Neubau

Beim Um- und Neubau von kleinen ebenso wie von mittleren und größeren Binnenschiffen sind, auch wenn die Niedrigwassertauglichkeit im Vordergrund steht, sind insbesondere die folgenden Ziele zu berücksichtigen:

- verbesserte Niedrigwassertauglichkeit
- höhere Energieeffizienz
- niedrigere Emissionen
- verbesserte Wirtschaftlichkeit
- Dekarbonisierung des Antriebs

Daher sind nicht nur einzelne Maßnahmen wie etwa ausschließlich die verbesserte Niedrigwassertauglichkeit in Betracht gezogen worden, sondern die sinnvolle Kombinationen von Maßnahmen erarbeitet worden.

Verlängerung des Schiffs und seines Laderaums

- Tragfähigkeitserhöhung bei unverändertem Tiefgang
- Mittel- bis langfristig Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Konstruktiv optimierter Neubau des Schiffs

- Neubau mit dieselelektrischem Antrieb und Zwei-Propeller-Anlage
- Von allen Modernisierungsprojekten trifft es im Gewerbe auf das größte Interesse
- Verbesserte Niedrigwassertauglichkeit im Fokus.

Ersatz des Hinterschiffs bei einem vorhandenen Schiff

- Teil-Neubau mit dieselelektrischem Antrieb und Zwei-Propeller-Anlage
- Dieses Projekt ist in Bezug auf seine Nutzenwirkung identisch mit dem konstruktiv optimierten Neubau des Schiffs. Aufgrund des geringeren Investitionsaufwands ist bei diesem Teil-Neubau der Aufwandswert deutlich besser.

Es ist allerdings darauf zu achten, dass diese Kombinationen nicht in jedem Fall „zwingend“ sind, da in der Umsetzungspraxis durchaus in Einzelfällen auf Maßnahmen verzichtet wird.

Die Analysen in AP3 ermitteln für Motorschiffe und für Schubboote ein Potenzial zur Verbesserung des Mindesttiefgangs um 40 cm auf einen kleinsten Tiefgang, T_{\min} , von 1,20 Metern. Der Anspruch in der Entwicklungsarbeit für konstruktiv optimierte Binnenschiffe sollte sein, dass der maximale Tiefgang bzw. die maximale Tragfähigkeit der Schiffe nicht reduziert ist.

5. Wirtschaftlichkeit konstruktiv optimierter Schiffe

Herausforderungen für die Wirtschaftlichkeit konstruktiv optimierter Schiffe sind

- der (Mehr-)Aufwand für konstruktive Optimierung;
- die Nachteile gegenüber konventionellen Schiffen bei „guten“ Wasserständen;
- dass auch konstruktiv optimierte Schiffe bei (extremen) Niedrigwasser mit geringer Auslastung (hohe Transportkosten) verkehren.

Im Kostenvergleich auf einer Beispielrelation für konstruktiv optimierter Binnenschiffe ergibt sich für die folgenden drei kombinierte Maßnahmen:

- Verlängerung Laderaum
> 110.000 € – 200.000 € Mehrkosten pro Jahr
> Transportkosten + 6% - + 13%
- Konstruktiv optimierter Neubau
> 90.000 – 140.000 € Mehrkosten pro Jahr
> Transportkosten -3% - +6% (bei mittleren Wasserständen)
- Ersatz des Hinterschiffs bei einem vorhandenen Schiff
> 320.000 € – 400.000 € Mehrkosten pro Jahr
> Transportkosten + 22% - + 30%

. 6. Wirtschaftlichkeit kleiner Schiffe

Herausforderungen für die Wirtschaftlichkeit konstruktiv optimierter Schiffe sind:

- kleine Schiffe sind je Tragfähigkeitstonne relativ teuer;
- der (Mehr-)Aufwand durch neue Anforderungen (Emissionen);
- der Wettbewerb mit traditionellen Schiffen (bzgl. deren günstigere Kostenstruktur).

Im Kostenvergleich auf zwei Beispielrelation für kleine Binnenschiffe ergibt sich für die folgenden zwei kombinierte Maßnahmen:

- Neubau kleines Schiff
> 140.000 € Mehrkosten pro Jahr
> Transportkosten +12% - +14%
- Modernisierung Bestandsschiff
> 130.000 € Mehrkosten pro Jahr
> Transportkosten +16% - +17%.

7. Förderung in anderen Mitgliedstaaten

Die ausländischen Förderprogramme in den Niederlanden, Belgien, Luxemburg, Frankreich und Österreich sind, bis auf ein neues Förderprogramm in Österreich, nicht explizit auf kleine oder optimierte Binnenschiffe ausgelegt worden. Die ausländischen Förderprogramme umfassen die folgenden Arten von Förderarten:

- steuerliche Förderung bei der Wiederbeschaffung eines Schiffes (in Form der Befreiung von der Mehrwertsteuer),
- Fonds für die Ausbildung der Binnenschiffer,
- weit überwiegend nicht rückzahlbare Zuschüsse für Infrastruktur, Verlagerung von Transporten, Digitalisierung, Navigationstechnik, Antrieb, Schiffsumbau und -neubau sowie für den Schiffskauf.

Im Rahmen der Förderung von Schiffstechnik wird überwiegend thematisch übergreifende Maßnahmen von Navigationstechnik, Antrieb sowie Schiffsumbau und -neubau gefördert. Somit wäre es prinzipiell möglich, dass derartige Maßnahmen kombiniert werden können, die für eine Optimierung eines Binnenschiffs sinnvoll ist. Beispielhaft sei die zeitgleiche Modernisierung des Antriebs, der Propulsion und des Hinterschiffs genannt.

Ein Förderprogramm kann auf drei verschiedene Arten ausgelegt werden:

- Das Förderprogramm fokussiert sich auf technische Maßnahmen, die primär eine Verbesserung bei dem Energiebedarf, der Nutzlast oder der Wirtschaftlichkeit erzielen. Die Wirkungen für ein auf Niedrigwasser optimierte Binnenschiffe ist implizit enthalten, d.h. sie werden nicht ausdrücklich als Ziel einer eigene Fördermaßnahme genannt.

- Das Förderprogramm enthält sowohl Maßnahmen, die primär eine Verbesserung bei dem Energiebedarf, der Nutzlast oder der Wirtschaftlichkeit erzielen, als auch Maßnahmen, die auf die Optimierung des Binnenschiffs für Niedrigwasser abzielen. Symbiotische Kombinationen von Maßnahmen, die Wirkungen in mehreren Bereichen erzielen können, sind vorteilhaft.
- Das Förderprogramm fokussiert sich auf Maßnahmen, die auf die Optimierung des Binnenschiffs für Niedrigwasserbedingungen abzielen. Dabei sind die Wirkungen zur Verbesserung des Energiebedarfs, der Nutzlast oder der Wirtschaftlichkeit nachrangig.

8. potenzielle Förderempfänger

Die deutschen Partikuliere lassen sich in vier Gruppen mit unterschiedlicher Vertragsgestaltung unterteilen:

- Frei fahrende Partikuliere
- Hauspartikuliere
- Festangeschlossene Partikuliere
- Genossenschaftsmitglieder

Es gibt rund 400-600 Partikuliere als kleine Einzelunternehmer (80% Anteil) mit vorrangig einem Schiff und 1-9 Beschäftigten mit einem Jahresumsatz von ca. 300.000-500.000 €. Weiter 100-150 mittlere und große Unternehmen (20% Anteil) haben im Durchschnitt 30-350 eigenen und gecharterten Schiffen.

Bezüglich der Anschaffungskosten für Binnenschiffen gelten die folgenden Bedingungen:

- Kosten für ein kleines konventionelles Gütermotorschiff mit 86m Länge und 9,5m Breite zwischen 3 und 4 Mio. €
- Kosten für ein Schiff mit 110 m Länge und 11,45 m Breite ca. 5 Mio. €, Tankschiffe bis 6-8 Mio. €
- Kosten für ein konstruktiv optimiertes Schiff mit 110 m Länge bis ca. 7 Mio. €
- Insbes. Partikuliere fehlt für die Anschaffung neuer Schiffe die nötige Finanzkraft, Investitionen in gebrauchte Schiffe (Ø Restwert ca. 350.000 €)
- Umbaukosten (neue Motoren) übersteigt häufig Restwert des Schiffes
- derzeit kaum Investitionen in neue kleine Schiffe, konstruktiv optimierte Schiffe bisher sehr selten
- Steigende Stahlkosten erschweren die Bedingungen.

Die Investitionsbereitschaft ist grundsätzlich bei Binnenreedereien und Partikulieren gegeben. Als Herausforderung für Investition ist die Wirtschaftlichkeit und Kreditvergabekriterien, die von der Abhängigkeit von langfristigen Verträgen geprägt ist. Die Binnenreeder und Verloader investieren vorwiegend in Schiffe >110 m Länge. Die Partikuliere

können das geforderte Eigenkapital selten allein aufbringen, daher wird eher in ältere (kleine) Schiffe investiert. Investitionen in konstruktiv optimierte Schiffe wird bisher durch fehlende valide Niedrigwasserprognosen gehemmt, da das Niedrigwasser 2018 branchenseitig häufig als Ausnahme gewertet wird.

Der Finanzierung des Erwerbs und des spezifischen Umbaus von Binnenschiffen stehen die Banken der Binnenschiffsfinanzierung grundsätzlich positiv gegenüber, aber die Anzahl der realisierten Projekte ist sehr gering. Herausforderungen sind das fehlende Eigenkapital der Partikuliere, die lange Laufzeit der Kredite angesichts des Alters der Unternehmer und die Folgen einer Zahlungsunfähigkeit.

9. deutsche und österreichische Förderprogramme

Die folgenden deutschen und österreichischen Förderprogramme sind derzeit verfügbar:

- (DE-01) Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen
- (DE-02) Innovativer Schiffbau sichert wettbewerbsfähige Arbeitsplätze
- (DE-03) Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern
- (DE-04) KfW-Umweltprogramm
- (AT-01) Förderprogramm umweltfreundliches Binnenschiff
- (AT-02) Nachfolgeprogramm zur Förderung der Binnenschiffahrt

Einen umfassenden Einblick bieten die Kriterien der Förderprogramme, die sich in die folgenden beiden Aspekte teilen:

- Bedingungen der Förderprogramme von technischen Maßnahmen hinsichtlich administrative und inhaltliche Charakteristika sowie Art und Umfang der Förderung (Tabelle 1)
- technologische Abdeckung der Förderprogramme von technischen Maßnahmen (Tabelle 2)

Die ähnlich angelegten Förderprogramme in Österreich sind zum Vergleich beigefügt.

	DE-01	DE-02	DE-03	DE-04	AT-01	AT-02
Fördergeber	BMDV (eh. BMVI)	BMWK (eh. BMWI)	BMDV (eh. BMVI)	KfW	BMK (eh. bmvit)	BMK (eh. bmvit)
Dauer	2021-2023	2020-2021	2020-2022	k.A.	2014-2018	ab 2022
Versionen	3.	1.	1.	1.	1.	2.
Förderquote	40% bis 80%	15-25%, KMU: 35-50 %	25%-100% gemäß AGVO	-	30% KMU: 40%	zu klären
Mindestinvestitionen	nein	nein	k.A.	nein	25.000 Euro	zu klären
De-minimis	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Zuschuss	X	X	X	Darlehen	X	X
Modernisierung	ja	ja	ja	ja	ja	ja
kleine BiSchi	explizit	explizit	ja/impl.	explizit	explizit	explizit
opt. BiSchi	explizit	explizit	explizit	explizit	explizit	explizit
Sitz des Fördernehmers im Land	DE	DE	DE	DE		k.A.
BiSchi registriert im Land	DE	DE	DE	ja	k.A.	k.A.
Weiterbetrieb	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Tabelle 1: Bedingungen der Förderprogramme

	DE-01	DE-02	DE-03	DE-04	AT-01	AT-02
Infrastruktur	-	-	-	-	-	-
Verlagerung	X	X	X	-	-	-
Digitalisierung	X	-	X	-	-	-
Navigation	-	-	X	X	X	X
Antrieb	-	X	X	X	X	X
Schiffsumbau	X	X	X	X	X	X
Schiffsneubau	-	-	X	-	-	-
Schiffkauf	-	-	-	-	-	-

Tabelle 2: technologische Abdeckung der Förderprogramme

10. Abgleich geeigneter und vorhandener Maßnahmen

Die geeigneten Maßnahmen setzen sich aus den Ergebnissen der Analyse der europäischen Förderprogrammen und den empfehlenswerten technischen Maßnahmen zusammen. Die vorhandenen Maßnahmen entstammen den vorliegenden deutschen Förderprogrammen. Die Maßnahmen müssen passend für die relevanten Fördermittelpfänger sein. Die Maßnahmen können aber nur wirksam sein, wenn die gegebenen Marktbedingungen und der Marktbedarf berücksichtigt wird.

Empfehlungen	vorliegende deutsche Förderprogramme			
	Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen (DE-01)	Innovativer Schiffbau sichert wettbewerbsfähige Arbeitsplätze (DE-02)	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	KfW-Umweltprogramm (DE-04)
geeignete technische Maßnahmen	Optimierung für Einsatz bei Niedrigwasser	neues Typschiff	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	KfW-Umweltprogramm (DE-04)
Verlängerung des Schiffs	Optimierung für Einsatz bei Niedrigwasser	neues Typschiff	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	KfW-Umweltprogramm (DE-04)
konstruktiv optimierter Neubau	Optimierung für Einsatz bei Niedrigwasser	neues Typschiff	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	umweltfreundliches Schiff
Ersatz des Hinterschiffs	Optimierung für Einsatz bei Niedrigwasser	neue Komponenten und Systeme	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	umweltfreundliche Nachrüstung
Neubau kleineres Binnenschiff	Optimierung für Einsatz bei Niedrigwasser	(evtl. neues Typschiff)	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	umweltfreundliches Schiff
innovative Maßnahmen neue Betriebsverfahren	Automatisierung	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)	Automatisierung	Investitionen zur Entwicklung von Digitalen Testfeldern (DE-03)

In der Tabelle sind unter den vorliegenden deutschen Förderprogrammen diejenigen vorhandene technische Maßnahmen aufgeführt, die als geeignet identifizierte, technische Maßnahmen abdecken.

11. Bewertung vorhandener und neuer Förderprogramme

Die Bewertung vorhandener und neuer Förderprogramme erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Anforderungen getrennt für kleine und für Niedrigwasser optimierte Binnenschiffe. Die Wertungsskala differenziert zwischen positiv (hohe Akzeptanz, hoher Nutzen), neutral (durchschnittliche Akzeptanz, wertneutral) und nachrangig (geringe Akzeptanz, geringer Nutzen). Die Wertung erfolgt für die Kriterien Akzeptanz der Binnenschiffer hinsichtlich der Fördermaßnahmen, dem zu erwartenden ökonomischen Nutzen der Fördermaßnahme und der externen Kosten bzw. volkswirtschaftlicher Nutzen der Fördermaßnahme. Die Bewertungskriterien sind wie folgt festgelegt:

- Akzeptanz der Binnenschiffer

Bewertung der Attraktivität der Fördermaßnahme für den Binnenschiffer im Hinblick darauf, ob sie der erleichterten Neubeschaffung, dem zielführenden Umbau des Binnenschiffes oder der Verbesserung der Einsatzfähigkeit des Binnenschiffes dienlich ist.

- ökonomischer Nutzen

Bewertung des wirtschaftlichen Nutzen der Fördermaßnahme im Hinblick auf Finanzierung einer Neubeschaffung oder eines Umbaus sowie der nachhaltigen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs des Binnenschiffs.

- Effekte im BiSchi-Markt

Bewertung der Auswirkungen der Fördermaßnahme auf den Transportmarkt der Binnenschiffahrt im Hinblick darauf, ob und ggf. wie der Wettbewerb zwischen Binnenschiffern mit Förderung gegenüber solchen ohne Förderung beeinflusst wird.

- kurzfristige Wirksamkeit

Bewertung der Fördermaßnahme in Hinblick darauf, ob sie unmittelbar oder spätestens mit Abschluss der geförderten Vorhabens (Neu- oder Umbau) die beabsichtigte Wirkung entfalten.

- Wirksamkeit auf die Flotte

Bewertung der Auswirkungen der Fördermaßnahme auf die gesamte Binnenschiffsflotte im Hinblick auf deren quantitativen und qualitativen Bestand oder Veränderung. Hinsichtlich kleiner Binnenschiffe wird eine positive Wirksamkeit auf die Flotte der kleinen Binnenschiffe bereits dann unterstellt, wenn die Maßnahme dazu beitragen könnte, die vorhandenen kleinen Binnenschiffe im Markt zu halten. Hinsichtlich der konstruktiv optimierten Binnenschiffe wird eine positive Wirksamkeit auf die Flotte nur dann angenommen, wenn die Förderung für Niedrigwasser optimierter Binnenschiffe die Mehrkosten gegenüber dem (Um-) Bau eines „nicht-optimierten“ Schiffs ausgleicht.

12. Maßnahmenbereiche der Förderung

Um Handlungsempfehlungen abgeben zu können, ist das Spektrum an Maßnahmen wie folgt zu abzustecken:

Maßnahmenbereiche	Art der Maßnahmen
Finanzierung	Senkung der Finanzierungskosten durch Förderung, steuerliche Erleichterungen
Investitionsförderung	Zuschuss zu Investitionen in Schiff oder dessen Komponenten
Forschung & Entwicklung	Zuschuss für F&E neuer Schiffstypen und Komponenten
Betriebsförderung	neue Betriebsverfahren, Anschubfinanzierung
Rechtsrahmen	Besatzungsvorschriften, Betriebsvorschriften
Infrastruktur	Fahrinnenvertiefung, Automatisierung von Schleusen
Bildung	Aus- und Weiterbildung des Nachwuchses

Zu den administrative und organisatorische Maßnahmen gehören steuerliche Erleichterungen (Finanzierung), die für kleine und optimierte Binnenschiffe geeignet sind, die Erleichterung der Besatzungsvorschriften (Rechtsrahmen), die für kleine

Binnenschiffe geeignet ist und die Förderung der Aus- und Weiterbildung (Bildung), die insbesondere die Gewinnung des Nachwuchses für das kleine Binnenschiff verbessert.

Steuerliche Erleichterungen können für die Wiederbeschaffung eines Schiffes (in Form der Befreiung von der Mehrwertsteuer) erfolgen, indem die Veräußerungsgewinne auf Binnenschiffe, die für die gewerbliche Schifffahrt bestimmt sind, vollständig steuerfrei sind, wenn der Betrag in Höhe des Verkaufswerts reinvestiert wird.

Die Betriebsförderung kann die folgenden Aspekte abdecken:

- Anschubfinanzierung für Transporte in neuen Märkten mit kleinem und optimierten Binnenschiff gestaffelt nach Schiffsgröße und Gutart (Container, Stückgut, Flüssiggut),
- Anschubfinanzierung bei der Verlagerung von Transporten auf das Binnenschiff gestaffelt nach Schiffsgröße und Gutart (Container, Stückgut, Flüssiggut),
- Zuschuss zu Transporten per konstruktiv optimierten Binnenschiff während Niedrigwasserperioden unter einer Abladetiefe von x Metern (indirekte Standortsicherung der vom Binnenschiffstransport abhängigen Industriekunden),
- Zuschuss zu Transporten mit kleinen Binnenschiffen auf Kanälen oder staugeregelten Nebenflüssen ausgerichtet an den Emissionseinsparungen gegenüber Straßentransport,
- Zuschuss für den Verloader, wenn er den Binnenschiffstransport nutzt.

Die Besatzungsvorschriften der RheinSchPersV verlangen Betriebsarten von kleinen Binnenschiffen bis zu 5 Personen Besatzung (Betriebsart B, Schiffslänge >86 m). Der Referentenentwurf der Verordnung zur Neuregelung befähigungsrechtlicher Vorschriften in der Binnenschifffahrt vom 02.08.2021 des BMDV sieht unter §107 vergleichbare Besatzungen, wenn auch auf die Tragfähigkeit bezogen, von mindestens 5 Besatzungsmitgliedern für die Betriebsform D vor.

In den Niederlanden bestehen seit 1.1.2011 im Binnenverkehr eine Lockerung der Besatzungsvorschriften für Schiffe und Konvois mit einer Länge von 86 Metern oder weniger (Binnenvaartregeling 2022).

Schiffstyp	Betriebsart	bisherige Regelung	neue Regelung seit 1.1.2011
<70 m	A1	1 Schiffsführer & 1 Matrose	1 Schiffsführer & 1 Matrose
<70 m	A2	2 Schiffsführer	1 Schiffsführer & Steuermann
70 – 86 m	A1	1 Schiffsführer & Bootsmann	1 Schiffsführer & 1 Matrose
70 – 86 m	A2	2 Schiffsführer & Leichtmatrose	1 Schiffsführer & Steuermann & 1 Leichtmatrose

Trotz der Lockerung der Besatzungsvorschriften für Schiffe mit einer Länge von weniger als 86 m bleiben die Betriebskosten eines kleinen Schiffes hoch, denn:

- Die Besatzungskosten pro Tonne Schiffsgröße sind bei einem kleinen Schiff deutlich höher als bei einem großen Schiff. Dies ist vor allem bei Angestellten der Fall;
- Die technische Ausrüstung an Bord kleiner Schiffe hat den gleichen Anschaffungspreis wie die auf großen Schiffen.

Des Weiteren besteht in den Niederlanden eine Lockerung der Besatzungsvorschriften für einen 1-Mann Betrieb für kleine Binnenschiffe unter 55 Meter. In der vorherigen Binnenschifffahrtsordnung (Artikel 5.15) ist für Einmannschiffe eine ununterbrochene Ruhezeit von 12 Stunden vorgeschrieben. In Verbindung mit der maximalen Fahrzeit von 12 Stunden pro Tag bedeutete dies, dass der allein fahrende Partikulier keine Möglichkeit hatte, Verspätungen, Wartezeiten an technischen Anlagen oder Unglücke als Ruhezeit zu verbuchen. Der Kapitän kann diese Ruhezeit in Anspruch nehmen, sie aber nicht für seine Tätigkeit nutzen. Diese Ruhezeit sollte flexibel gestaltet werden, wobei die Wartezeiten an den technischen Anlagen so-wie beim Be- und Entladen zu berücksichtigen sind. Durch die Vorgabe einer ununterbrochenen Ruhezeit von 8 Stunden anstelle von 12 Stunden konnte dies erreicht werden. Die Mindestruhezeit innerhalb eines 24-Stunden-Zeitraums wird nicht angetastet; sie beträgt weiterhin 12 Stunden. Dadurch wird der Betrieb etwas flexibler, ohne dass die Sicherheit oder die tägliche Ruhezeit beeinträchtigt wird (Regeling tot wijziging van de Binnenvaartregeling 2010).

13. Notwendigkeit der Fördermaßnahmen für kleine Binnenschiffe

Die Studie hat gezeigt, dass die Flotte der kleinen Binnenschiffe aufgrund der Überalterung der Schiffe und der Demografie seiner Eigner tendenziell abnehmen wird. Würde man auf diese Entwicklung angesichts schwieriger Bedingungen zur Finanzierung neuer Schiffe und der Gewinnung von Nachwuchs nicht reagieren, würde sich die folgenden Konsequenzen ergeben:

- Die Transportnetze der Schiene und der Straße müssten zusätzlich den Anteil des prognostizierten Transportaufkommens der kleinen Binnenschiffe von 42 Mio. Tonnen pro Jahr entsprechend 11% des Gesamtaufkommens der Binnenschifffahrt im Jahre 2030 aufnehmen. Damit wäre die prognostizierte Steigerung des Güterverkehrsaufkommens der Binnenschifffahrt von 2010 bis 2030 von 46 Mio. Tonnen (Intraplan/IVU 2014) fast kompensiert und der Anstieg von prognostizierten 20% auf nur noch 1,7 % reduziert, was einer Stagnation gleich käme und dies auch nur aufgrund der prognostizierten Steigerungen in

anderen Transportkorridoren und -märkten der Binnenschifffahrt.

- Betroffen wären vorrangig ohnehin schon die bis an die Kapazitätsgrenze hoch belasteten Hauptkorridore der Schiene und der Straße parallel zu den von den kleinen Binnenschiffen bislang genutzten Binnenwasserstraßen. Dabei wird ohnehin schon im Lkw-Fernverkehr eine Steigerung von 22% bis 2030 prognostiziert (BVU/ITP/IVV/Planco, 2014).

- Die Verlagerung des zusätzlichen Transportaufkommens des schweren Massenguts auf die Straße würde zu einem überdurchschnittlich schnelleren Verschleiß der Straßeninfrastruktur auf den befahrenen Strecken führen. Erhöhte Investitionen in die Instandhaltung der Straßeninfrastruktur wären erforderlich. Die Instandhaltung ist aber bereits heute unterfinanziert. Das steigende Risiko vorzeitiger Schadensereignisse vor einem Ersatzneubau führt zu langjährigen Beeinträchtigung des Verkehrsflusses auf Straße und z.T. auch auf der Schiene.

- Die Verlagerung auf die Straße würde auch einen erhöhten Personalbedarf an Lkw-Fahrern nach sich ziehen. Ein kleines Binnenschiff mit 1350 t Tragfähigkeit müsste durch 54 Lkw ersetzt werden, folglich das 11- bis 18-fache an Personal. Angesichts des zunehmenden Mangels an Lkw-Fahrern wird durch diese Verringerung der Effizienz die Versorgungssicherheit weiter beeinträchtigt.

- Das zusätzliche Transportaufkommen auf Schiene und Straße würde den Druck hinsichtlich eines zusätzlichen kapazitiven Ausbaus der Straßen- und Schieneninfrastruktur weiter erhöhen.

- Die bereits getätigten und laufenden Investitionen in die überwiegend durch die kleinen Binnenschiffe genutzten Wasserstraßen wären nicht mehr durch ein entsprechendes Transportaufkommen gerechtfertigt, was auch aus volkswirtschaftlicher Sicht ungünstiger wäre. So betreffen fast alle laufende und fest disponierte Vorhaben des vordringlichen Bedarfs für die Bundeswasserstraßen des Bundesverkehrswegeplans 2030 Wasserstraßen, die vorzugsweise von kleinen Binnenschiffen befahren werden (können). Damit wären gerade diejenigen Wasserstraßen – insbesondere des westdeutschen Kanalnetzes – betroffen, für den laut Netzzumlegung Wasserstraße der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 (BVU/ITP/IVV/Planco, 2014) eigentlich signifikant überdurchschnittliche Zuwächse zwischen 25% und 40% erwartet wurden. Außerdem wäre das strategische Ziel des Aktionsplans Westdeutsche Kanäle – Nordrhein-Westfalen (GDSW 2021) nicht genutzt, dass mit dem Ausbau (BVWP) u.a. die Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt gesteigert werden soll.

- Das Risiko für folgenreiche Verkehrsunfälle unter Beteiligung des Schwerverkehrs auf der Straße würde steigen.

- Die Lärmbelastung würde steigen, da das Binnenschiff das leisere Verkehrsmittel ist und Anwohner näher an Straßen und an den Schienenstrecken des Güterverkehrs gelegen sind.

- Eine Verlagerung weg von der sehr energieeffizienten Binnenschifffahrt (Energie je transportierter Tonne) wäre aus ökologischer Sicht aufgrund steigender klimaschädlicher Emissionen ungünstig im Hinblick auf die umweltpolitischen Ziele auf nationaler und europäischer Ebene (Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, European Green Deal). Der Lösungsstrategien des Bundesverkehrswegeplans 2015 der Verkehrsverlagerung auf emissionsarme Verkehrsträger würde zuwider gehandelt werden.

- Die Rückverlagerung eines einmal abgewanderten Transportaufkommens auf die kleinen Binnenschiffe ist ungleich schwieriger und für Investoren noch risikobehafteter als die Aufrechterhaltung des Binnenschiffverkehrs, folglich also kaum im nennenswerten Umfang gemessen am ursprünglichen Aufkommen gemessen zu erwarten.

- Zwingend auf die Binnenschifffahrt angewiesene Verloader, namentlich aufgrund der Transportkosten oder der Gewichte bzw. Abmessungen der Transportgüter, werden ihre abhängigen Standorte verlagern und damit oftmals die Attraktivität wirtschafts-schwacher Regionen maßgeblich hinsichtlich ihrer Wirtschaftskraft und Arbeitsplätze schwächen.

14. Notwendigkeit der Fördermaßnahmen für konstruktiv optimierte Binnenschiffe

Die Studie hat gezeigt, dass die durchgehende Betrieb der Binnenschifffahrt für wichtige Wirtschaftsbereiche wie der Chemie- und Stahlindustrie entscheidend ist:

- Die durchgehend laufenden Produktionsprozesse müssen mit durch die entsprechende Lieferketten großer Gütervolumen über die Binnenschifffahrt sichergestellt werden.

- Alternative Verkehrsträger wie Straße, Schiene und Rohrleitung stehen nur eingeschränkt oder nicht zur Verfügung aufgrund unzureichend bis nicht verfügbarer Kapazitäten an Fahrzeugen, Fahrern, Umschlaganlagen oder der Strecken. Selbst wenn diese technischen Anforderungen erfüllt sind, sind bei den alternativen Transportketten häufig Mehrkosten zu verzeichnen, die eine vollumfängliche Verlagerung nur über den Zeitraum des Niedrigwassers unwirtschaftlich machen.

- Eine Zwischenlagerungen des Transportgutes für den Zeitraum der

Niedrigwasserphase ist, wenn überhaupt, nur in begrenzten Maße möglich.

- Eine fehlende Zuverlässigkeit des Binnenschifftransport führt mittelfristig zu Überlegungen, Investitionen im Umschlaganlagen und Transportmittel alternativer Verkehrsträger zu tätigen, was in Folge durch das rückläufige Aufkommen im Binnenschifftransport dessen Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Investitionen in neue, insbesondere konstruktiv optimierte Binnenschiffe wird hierdurch zusätzlich erschwert.

- Eine fehlende Zuverlässigkeit des Binnenschifftransport führt längerfristig zu Überlegungen, Investitionen an Produktionsstandorten zu bevorzugen, die nicht von dieser Abhängigkeit von einem Verkehrsträger beeinträchtigt sind.

- Die Attraktivität des von Binnenschiffahrt abhängigen Produktionsstandortes kann aufgrund der zahlreichen in dessen Umfeld angesiedelten, maßgeblich abhängigen Zulieferern bei dessen Beeinträchtigung oder gar Verlagerung maßgeblich hinsichtlich ihrer Wirtschaftskraft und Arbeitsplätze geschwächt werden.

- Investitionen in konstruktiv optimierte Binnenschiffe können sich nicht in dem Maße entfalten, da auch deren neue Transportmärkte wie Energieträger aus nachhaltiger Quelle wie Wasserstoff sich vorzugsweise dort entwickeln können, wo der wirtschaftliche Bedarf durch Kunden (an einem prosperierenden Wirtschaftsstandort) einerseits vorhanden ist und sich Synergien mit bestehenden Transportaufkommen (z.B. durch Nutzung unpaariger Transporte) ergeben können.

- Investitionen der öffentlichen Hand zur Fahrrinnenvertiefung insbesondere von freifließenden Flüssen als komplementäre Maßnahme zu Investitionen in konstruktiv optimierte Binnenschiffe.

- Das Transportgut ist auf alternativen Verkehrsträgern einem höheren Schadensrisiko ausgesetzt. Gefahrguttransporte werden zu einem Risiko für andere Verkehrsteilnehmer, Anwohner und folglich eine Beeinträchtigung für die öffentliche Wahrnehmung der verladenden Industrie.

15. Empfehlungen geeigneter Maßnahmen für kleine Binnenschiffe

Für kleine Binnenschiffe empfiehlt sich eine Kombination von Maßnahmen, um deren Wettbewerbsfähigkeit und somit deren Teilhabe am Transportmarkt nachhaltig zu sichern.

Als kurzfristig wirksame, aber auch längerfristig sinnvolle Maßnahme ist die Unterstützung der Finanzierung vorrangig bei der Beschaffung neuer Binnenschiffe, aber auch bei der Modernisierung

vorhandener Binnenschiffe anzustreben. Für die Schiffseigner (Partikulierer) ist mit einem kleine Binnenschiff nicht genug Cashflow generierbar, um die Finanzierung der hohen Kosten für den Neu- und Umbau eines neuen Binnenschiffes zu tragen. Die Fördermaßnahmen zur Unterstützung der Finanzierung wie Darlehen und Bürgschaft öffentlicher Banken bietet jeweils alleinstehend einen begrenzten, aber nicht hinreichenden Mehrwert.

Die Alt-für-Neu-Regelung unterstützt dahingehend besser beider Investitionsbereitschaft, weil der Restwert des alten Schiffes erstattet wird. Eine alternative Regelung kann die Freistellung von der Mehrwertsteuer der Veräußerungsgewinne des alten Binnenschiffes darstellen, wenn diese in die Wiederbeschaffung eines neuen kleinen Binnenschiffes reinvestiert werden. Eine „Alt-für-Neu-Regelung“ würde allerdings Neueinsteiger beim Erwerb von neuen kleinen Binnenschiffen ausschließen.

Ergänzt werden sollte dies durch eine Erleichterung der Besatzungsvorschriften. Auch wenn hierbei eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit die zentrale Zielgröße darstellt, so wäre dies nicht vorrangig durch Absenkung der Anforderungen an die Qualifikation des Personals wie im Beispiel der Niederlande zu erzielen. Vielmehr sollte die Schiffsbesatzung in Ihrer verantwortungsvollen Arbeit unterstützt werden, indem die Ausrüstung der kleinen Binnenschiffe mit automatisierten Umschlagsysteme und neuartiger digitalen Assistenzsystem zur Schiffsführung gefördert wird. Ergänzend hierzu sind die zusätzliche Qualifikation sowohl des etablierten als auch des neu auszubildenden Personals für die Anwendung dieser Assistenzsysteme zu fördern.

Eine weitere Strategie richtet sich darauf, die Binnenschiffer für die Entwicklung von Dienstleistungen in neuen Geschäftsfeldern zu unterstützen. Hierbei ist es von Bedeutung, sich nicht nur auf die reine Transportdienstleistung zu beschränken, sondern auch Umsatz steigernde Mehrwertdienstleistungen anzubieten, die u.a. Zwischenlagerung, Speditionsleistungen (z.B. Verzollung, Versicherung) und Behandlung des Transportgutes (z.B. Abgabe in kleineren Gebinden, Konsolidierung) umfassen können. Diese Befähigung der Partikuliere mit kleinen Binnenschiff erfolgt mehrstufig, indem

- die Aus- und Fortbildung für die Kompetenzvermittlung;

- die Ausrüstung der kleinen Binnenschiffe mit Assistenzsystemen, insbesondere im Hinblick auf die automatisierte Navigation auf kleinen Wasserstraßen (Vorbild: Flandern – Subventionen für effizienteren Güterverkehr;

- alternativ die Wiederbeschaffung eines Schiffes mittels einer Alt-für-Neu-Regelung oder einer

Steuerbefreiung der Veräußerungsgewinne bei deren Reinvestition;

- die Anschubfinanzierung von neuen Transportdienstleistung (urbane Logistik, neue Energieträger wie H₂) kleiner Binnenschiffe mit einem neuen Förderprogramm (Vorbild: angedachte niederländische Förderung innovativer Unternehmensformen mittels SBIR (small business innovation research) und
- die Entwicklung neuer Technologien, Verfahren und rechtlichen Regelungen durch F&E-Programme

komplementär gefördert werden.

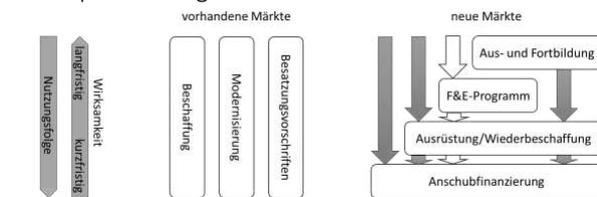


Abbildung Förderung für kleine Binnenschiffe

Es bleibt dem Binnenschiffer überlassen, welche Fördermaßnahme er in Anspruch nimmt, eine logische Kombination von Förderprogrammen sollte aber ermöglicht werden. Auf diese Weise wird es jungen Binnenschiffen ermöglicht, Ihre Ausbildung, die Ausrüstung des kleinen Binnenschiffes und abschließend die Anschubfinanzierung zu stemmen, bis sie sich in neuen Märkten etabliert haben.

Wenn eine Modernisierung wirtschaftlich darstellbar ist, bietet sich das bestehende Förderprogramm zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen und das KfW-Umweltprogramm an. Eine Unterstützung ist erforderlich, da die technische Ausrüstung an Bord kleiner Schiffe den gleichen Anschaffungspreis aufweist wie die auf großen Schiffen. Daher wird angeraten, im Förderprogramm zur eine Differenzierung in Form von unterschiedlichen Förderquote gestaffelt nach Schiffsgröße insbesondere bei der Maßnahme der Digitalisierung und Automatisierung vorzunehmen.

Hinsichtlich der Anschubfinanzierung sind neue Fördermaßnahme von Interesse, bei denen

- die Bedienung neuer Märkte erschossen, bei denen noch kein Wettbewerb etabliert ist. Hierdurch soll es den Binnenschiffen ermöglicht werden, sich frühzeitig in den neuen Märkten zu etablieren. Hierbei sind entsprechende logistische Konzepte vorzu-legen.
- die Verlagerung von Transporten auf das kleine Binnenschiff, insbesondere wenn Kanäle oder staugeregelten Nebenflüsse genutzt werden, auf denen große Binnenschiffe nicht verkehren können. Als Bemessungsgröße der Förderhöhe bieten sich die Emissionseinsparungen gegenüber dem Straßentransport an.

Der Weiterbetrieb sollte über die Förderzeitraum hinaus mindestens 2-5 Jahre betragen.

Der Nutzung von F&E-Förderprogrammen ist für kleine Binnenschiffe nachrangig und sie kommen nur dann längerfristig zum Tragen, wenn neue Betriebsverfahren und neue Assistenzsystem eine Kostenersparnis erwarten lassen. Die Entwicklung neuer Techniken sollte vorrangig zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen beitragen, die zugleich die technischen Sicherheitsanforderungen erhöhen.

16. Empfehlungen geeigneter Maßnahmen für konstruktiv optimierte Binnenschiffe

Die Beschaffung konstruktiv optimierte Binnenschiffe hängt nicht primär an der Finanzierung, da finanzkräftigere Akteure an den Einsatz derartiger Binnenschiffe voranbringen und bereits eine Eigendynamik bekommen hat. Daher sind Fördermaßnahmen von öffentlichen Banken wie Darlehen und Bürgschaften von geringer Bedeutung. Dennoch sollte die Entwicklung begleitend unterstützt werden.

Eine Alt-für-Neu-Regelung ist für die Beschaffung von konstruktiv optimierte Binnenschiffe kaum von Interesse, da einerseits der Großteil der am Markt sehr gefragten Flotte in der Größenklasse bereits relativ modern ist und eine Verschrottung die Vernichtung recht hoher Restwerte bedeuten würde. Andererseits lassen sich konstruktiv optimierte Binnenschiffe z.T. auch aus vorhandenen Binnenschiffen im Vergleich zu einem (Ersatz-) Neubau kostengünstiger umbauen.

Das vorliegende BMDV-Förderprogramm „Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen“ bietet für konstruktiv optimierte Binnenschiffe die größtmögliche Wirkung dar, da es die Optimierung des Binnenschiffs für den Einsatz bei Niedrigwasser explizit adressiert und die im Rahmen dieser Studie als zielführend erachteten technischen Maßnahme der Verlängerung des Schiffs, des konstruktiv optimierten Neubaus sowie des Ersatzes des Hinterschiffs bereits abdeckt. Um über die deutsche Flotte hinaus eine umfassende Wirkung zu erzielen ist es von Vorteil, dass in Österreich ein sehr ähnliches Förderprogramm im Laufe des Jahres 2022 aufgelegt werden soll. Angesichts des wesentlichen Anteils an niederländischen Binnenschiffen würde es das Bild komplettieren, wenn auch die Niederlande den Zuwachs an konstruktiv optimierte Binnenschiffe unterstützen würde. Dies würde dem Hauptzweck der Förderung konstruktiv optimierte Binnenschiffe, nämlich der Sicherung wichtiger, zum erheblichen Teil voneinander abhängiger Produktionsstandorte entlang der Wasserstraßen für aufkommens-starke Güterströme mit einer hohen Frequenz, grenzüberschreitend sehr dienlich sein.

Das KfW-Umweltprogramm stellt kein maßgebliches Förderprogramm dar, da für ein

konstruktiv optimiertes Binnenschiff die Maßnahmen der Verlängerung des Schiffs, des konstruktiv optimierten Neubaus sowie des Ersatzes des Hinterschiffs entscheidend sind. Eine Förderung über ein Darlehen nur des oftmals zugleich mit der Optimierungsmaßnahme ein-zubauenden modernen, emissionsarmen Antriebs ist aufgrund seiner Nachrangigkeit nicht hinreichend stimulierend für den Schiffseigner ist.

Ein Zuschuss zu den Transporten per konstruktiv optimiertem Binnenschiff während der Niedrigwasserperioden unter einer Abladetiefe von x Metern (abhängig vom kritischen Flussabschnitt) würde eine Entlastung des Verladers vom Kleinwasserzuschlag darstellen, zugleich aber dem Binnenschiffer die Mehreinnahmen des Kleinwasserzuschlags erhalten. Durch eine solche gezielte Fördermaßnahme wird die Wirtschaftlichkeit des Binnenschifftransports und somit dessen Wettbewerbsfähigkeit über die Niedrigwasserphase hinweg so weit verbessert, so dass nur die Reduktion der Ladekapazität verbleibt. Direkt werden damit Märkte für die Binnenschiffahrt gesichert, indirekt wird zur Standortsicherung der vom Binnenschifftransport abhängigen Industriestandorte beigetragen.

Anstelle einer Bezuschussung des Binnenschiffers sollte die Anschubfinanzierung des Verladers in Erwägung gezogen werden, wenn er den Binnenschifftransport nutzt. In den Förderbedingungen kann ein Bonus eingefügt werden, wenn ein konstruktiv optimiertes Binnenschiff genutzt wird, um die wirtschaftlichen Nachteile des Betriebs bei Normalwasserstand auszugleichen. Es handelt sich um eine weiterreichende Maßnahme, die Wirkungen auf konstruktiv optimierten Binnenschiff explizit enthält.

Die Fahrrinnenvertiefung an kritischen Flussabschnitten wäre eine komplementäre Infrastrukturmaßnahme, die in Kombination mit den konstruktiv optimierten Binnenschiffen eine bestmögliche Ausdehnung der Befahrbarkeit des Flusses an kritischen Passagen sicherstellen. Diese Maßnahme ist allerdings nur relativ langfristig wirksam, kostenintensiv und aus fluss-ökologischen Gründen nicht immer umsetzbar.

Literatur

Statistisches Bundesamt destatis (2023): Verkehr aktuell 01/2023, Fachserie 8 Reihe 1.1, Wiesbaden

MARLO Consultants, SGK, DST, Planco (2022): Studie zur Prüfung einer Förderung für kleinere und/oder konstruktiv optimierte Binnenschiffe, FE-Projekt Nr. 30.352/2020, BMDV, Berlin

<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/studie-kleine-binnenschiffe.html>

Verordnung über das Schiffspersonal auf dem Rhein der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (Stand 07.10.2018)

https://www.ccr-zkr.org/files/documents/reglementSTF/stf1_102018_de.pdf

BMDV (2021): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Gesetze-19/verordnung-neuregelung-befaeigungsrechtlicher-vorschriften-binnenschiffahrt.html?nn=382740>

Binnenvaartregeling (gültig von 06.10.2021 bis 31.12.2021), Overheid, https://wetten.overheid.nl/BWBR0025958/2021-10-06#Hoofdstuk5_Paragraaf5_Artikel5.21

Regeling tot wijziging van de Binnenvaartregeling (2010): <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2010-20385.html>

Intraplan/BVU (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030, Schlussbericht Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs, BMVI

BVU/ITP/IVV/Planco (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegungen auf die Verkehrsträger, Schlussbericht Los 4: Netzumlegung Straßenverkehr, BMVI, Berlin

Gesetz über den Ausbau der Bundeswasserstraßen und zur Änderung des Bundeswasserstraßengesetzes vom 23.12.2016 <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/bvwp-wasserstrassenausbaugesetz.pdf?blob=publicationFile>

Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, WSV (2021): Aktionsplan Westdeutsche Kanäle – Nordrhein-Westfalen, Bonn

AutorInnenangaben

Roland Frindik
Geschäftsführender Gesellschafter

MARLO Consultants GmbH, Vorholzstraße 1, 76137
Karlsruhe
E-Mail: frindik@marlo-consultants.de

Improving port sustainability performance: Cost-benefit and carbon footprint analysis for assessing infrastructure investments

Lasse Steffens, Jan Wedemeier*

Abstract

The European Union tightened its climate targets in July 2021. Sectors of the economy - including ports - must contribute by reducing their emissions. This paper strives welfare economics by including externalities such as environmental costs and presents results for evaluating infrastructure investments in ports. By applying a combined cost-benefit and carbon footprint analysis the authors show how decision-makers can assess port investments in infrastructure economically and environmentally. Using European port redevelopment as an example, this article illustrates that including externalities in the cost comparisons of port investment options could lead to new discussion making. Moreover, decarbonizing the economy does not just bring only economic benefits by efficiency increase but can also reduce cost to society. The idea of the triple bottom line (TBL) framework is addressed and discusses the role of the inclusion of social sustainability for port infrastructure investments.

Keywords:

infrastructure, ports, triple-bottom-line framework, cost-benefit-analysis, environmental economics

1. Introduction: The European Union Green Plan and the role of ports in green transition

Roughly 40% of all European exports and 50% of all imports were transported on water in 2020 (Eurostat 2022): These goods are consequently imported or exported through the ports - A port is the door to the world market.

As such, European governments are interested in shaping the development of their ports and ought to provide guidelines for their development (Accario 2015). With its importance continuing to grow, forecasts predict that intra-European shipping will continue to increase until 2050. However, port activities face enormously challenges to meet European climate targets. According to EEA (2021) ports must also contribute to achieving carbon neutrality. At the European level, the maritime sector emits about 13% of CO₂e emissions, of which 40% are generated by intra-European maritime transport alone (IMO 2020). Most ships use fossil fuels as energy sources, of which heavy fuel oil (HFO) and marine diesel oil make up the majority because of their low price. They account for about 90% of the energy used in shipping (Fenhann 2017). These fuels, however, are

when burned responsible for considerable amounts of pollution and GHG emittance. Besides CO₂e emissions, other substances such as sulfur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NOX), and particulate matter (PM) are emitted, which have further negative effects on the environment and human health. The price for fuels does not have to reflect their social value (Pindyck and Rubinfeld 2018).

Ports as interface to the shipping and infrastructure provider can contribute to the decarbonization of maritime transport by reduction negative externalities and inefficiency. Ports could serve as catalysts for maritime activities and nodes of industrial and firm activities, can leverage the reduction of emissions aside from just the design of the infrastructure. Decarbonization potentials arise at various levels; the main ones are (i.) the production and provision of renewable energy, (ii.) bunkering of lower-emission fuel alternatives such as LNG, (iii.) the optimization and shortening of handling processes, and (iv.) the replacement of energy-inefficient equipment and technologies (Alamouh et al. 2022). In line with the World Ports Climate Initiative (2010), a decarbonized port should thus seek to reduce the number of

emissions while increasing the efficiency of the port operation itself.

Cost-Benefit- (CBA) and Carbon-Footprint-Analysis (CFA) can be utilized for the economic and ecological evaluation of these measures. This article discusses the necessity and benefits of a combined CBA/CFA for port investment projects. In course of a European-wide research project on ports, a benefit-cost analysis was developed within a model that combines both analyses and brings up a discussion of port investments according to their financial and environmental performance. Beyond this aspect, the concept of Triple-Bottom-Line is included and discusses if welfare economics can benefit from investments in decarbonization projects. The price of a good need not necessarily present its social value.

The article is structured as follows: The following section introduces the cost-benefit analysis model and explains why the CBA model becomes a fundamental role in the analysis of port investments (Section 2). The theoretical foundations are put into context and elaborate the fundamentals of that model. Section 3 presents a model that combines the CBA and CFA and is applied in a European research project on port development. Section 4 discusses the best-practice results in the context of recent geopolitical and -economic developments and contextualizes them with the triple bottom line (TBL) approach. The article closes with a short conclusion and highlights the limitations of the method and article (Section 5).

2. Methodology: The Approach

Comparing the pros and cons of a potential decision is commonplace. One chooses between food, jobs, transportation, and so on. One chooses between opportunities based on positive or negative classifications and feelings. The cost-benefit analysis attempts to do this in a systematic way based on economic theory (Koopmans and Mouter 2020). However, there is an overall long history of the evaluation of investments. In microeconomics it has its own status and history, and there are even some journals that only look at benefit-cost analysis (e. g. *Journal of Benefit-Cost Analysis*). The idea of externalities was already part of work by Marshall (1890) and Pigou (1920). They noticed the difference between social and private costs (Pearce et al. 2006). In the 1960s and 1970s, the social cost-benefit analysis started to become a widespread application, and the theory has developed further (Pearce et al. 2006); before it was more a theoretical model in microeconomics.

Cost-benefit analyses (CBAs) enable the economic and the complementary carbon footprint analyses (CFA) for the environmental assessment of

investments. Although measuring different variables both analyses aim to better understand their respective financial and ecological performance. This is not new either. But attempts to 'operationalize' a concept of sustainability in assessment methods as cost-benefit for practical decision-making have not always been convincing. Boadway (2006) states the relevance of shadow pricing of market products and inputs to calculate the opportunities of a project. The key concept of shadow prices is to reflect social opportunity costs (European Commission 2015). Barbier et al. (1990) argue, moreover, that this need not be the case when using 'shadow' projects – or as in our paper alternatively projects – to ensure a sustainability objective and to calculate the costs and benefits of an investment. In both cases, the resulting optimum differs from the efficient optimum of the traditional and alternative cost-benefit criterion, but the basic cost-benefit model remains in calculation.

With the analysis of investments according to the included metrics offers the possibility to compare investments; ultimately enabling a more efficient use of limited resources through optimization in decision-making (European Commission 2015). Hence, after evaluating an investment on its economic and environmental costs and benefits, different investments can be compared with each other. In this process, objective key figures are used to compare several options for action or investment against self-imposed targets. Besides economic and environmental rates of return, the analyses can also be extended and used to quantify and compare general welfare gains of individual measures. The welfare theory was introduced by Pareto (1896) and discusses the optimum in a state where no one can be made better off without making someone else worse off. The challenge, however, is that, in addition to a general equilibrium determination, this theory is difficult to transfer to quantify 'real' (opportunity) costs. In a cost-benefit analysis, the so-called willingness to pay rate is often used to be able to make differences in the modeling (Boadway 2006).

The assessment of economic investments follows existing and widespread cost-analysis methods, which focus mainly on estimates of the cost-benefit ratios. The method calculates the sums of discounted monetary inflows and monetary outflows and then sets them about each other: If the ratio is greater than 1, the project is recommended from an economic perspective (European Investment Bank 2013, 2014; European Commission 2015).

Moreover, there are different methodologies to analyze investments (in ports). Typical in the ex-ante evaluation are Economics Impact Analysis (EIA), but also Computable General Equilibrium Models (CGE) or just a cost-benefit analysis (CBA). All methods have strengths and weaknesses. These common methods

have different goals, although there are similarities. A CBA should not be confused with a CGE and an Economic Impact Analysis (EIA). The latter is a widely used tool to assess the economic impact of a political or organizational decisions. Furthermore, an EIA is not based on welfare economics. Effects on private households and externalities are usually not included in EIA, but unemployment and employment are. Methods used in the EIA are often input-output analysis, regional economic models, or also computable general equilibrium models (Forsyth et al. 2021; Koopmans and Mouter 2020, Weisbrod 2008). This is different from CGE models, which are founded on micro- and macroeconomics theory. Prices are crucial in this modelling. The data intensive CGE models can analyze more general aspects of economics within an investment question. On the other hand, a CBA estimates the equivalent monetary value of the costs and benefits to the society of an investment (decision), paying particular attention to externalities with its' negative and positive effects. From this point of view, a CBA is suitable for an environmental economic analysis. As well Forsyth et al. (2021), conclude that the CBA approach and the more recent CGE modeling evaluate investment decisions well, whereby there is a methodological tendency towards CGA model. Under certain conditions et al. a CGE can depict a general equilibrium of an investment decision, whereas a CBA cannot evaluate this, and a CGA can also capture nonlocal externalities. However, for the evaluation there is certain need of data availability, which is not always given (even the port operators, as in this example of the case studies, have perfect data on externalities of the current port activities). This leads to the application of the CBA methodology in the assessment, as recommended by the EIB (2013).

In the context of the 'green' transformation of port economies, however, there is a growing demand to extend the comparative assessments of investment decision to include (negative or positive) externalities, beyond the examination of economic firm activities. Emissions, like light, noise, CO₂ equivalent emissions, or other elements that are harmful to the environment and health, represent an externality that is not included in classical cost-benefit analysis (Phaneuf and Requate 2016). For example, the US Maritime Administration (MARAD) of the United States Department of Transportation provides the opportunity for Emission Reduction Benefits within the cost-benefit analysis of the Port Infrastructure Development Program Grant. In addition to the reductions in external costs, it states that a benefit is credited for port infrastructure improvements if an emission reduction of fuel consumption is met (MARAD 2020; U.S. Department of Transportation 2022). But why is there a growing need to capture

externalities? First, the extension of the emissions trading scheme to more sectors and the expected increase in the carbon price will make energy-inefficient investments less attractive and economically viable (i). Second, with the associated decrease in carbon emissions, other subsequent benefits often follow along e. g., the reduction of noise and light pollution, and an increase in the wellbeing of workers and the community (ii). Third, a potential reduction of energy consumption also reduces overall energy costs, which could lower operating costs making business more profitable (iii) (Phaneuf and Requate 2016; European Commission 2020). The integration of the environmental dimensions of investment decisions is carried out with the help of carbon footprint analyses (CFA). The linchpin of CFA is the 'translation' of the impact of an investment on the environment into quantitative, comparable units. To be included in the analysis, the emissions resulting from a measure must be assessed and transformed into a monetary value.

According to micro-economic models, the respective 'pricing' for individual emissions such as CO₂, SO₂, or NO_x can be done with the help of the equilibrium model (see figure 1). Here, increasing social costs $D(E)$, which originate from the emittance of emissions are compared to compensation and abatement cost $I(E)$ of emitters. The goal is to find the efficient emission level \hat{e}^* and the efficient taxation level \hat{t}^* , i.e., finding the Pareto optimum that minimizes societal costs as a whole $\min(D(E) + C(E))$. If there is insufficient internalization of societal costs, the emission level would be inefficient, resulting in a market failure (Phaneuf and Requate 2016).

The calculation of the optimal emission level depends on the social costs of greenhouse gas emissions, which are in turn estimates of the expected impacts that climate change brings. The monetary quantification of environmental damages depends on the future development of the climate and the following valuation of said ecosystems and their functions. Socioeconomic and physical climate variables are combined and put into relation to one another (NASEM 2017). Because of the uncertainty of climate models and the monetary valuation of economic systems and ecosystem services, factors are characterized by uncertainty, which can lead to a wide range of social cost estimates. Those estimates also must be discounted. That is due to the assumption that future social costs are lower than the ones in the present.

The discount rate has a normative underlying since a higher discount rate ascribes the present a higher value than the future and thus low discount rates between 0% and 3.5% are suggested (OECD 2018). Depending on the model different damage functions are calculated which influence the optimal emission

level and thus the tax (see figure 1); one of the most prominently used models is the Dynamic Integrated model of Climate and Economy (DICE) which has its origins in the works of Nordhaus and Zili (1996). For further consultation of DICE and other damage models, the work of the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicines (NASEM 2017: pp. 129-155) provides an extensive overview.

In summary, rational cost-benefit analysis is a method that adds benefits and costs, measured in a unified unit such as the euro. Opportunity costs can be used as an optimization problem to choose the best possible alternative (Acemoglu et al. 2016). The extension to include the environmental effects with a CFA into the CBA makes it possible to evaluate investments based on both economic and social costs and benefits.

choices are made between alternatives. Therefore, the use of CBAs is recommended, which can calculate the economic value of 'green' investments and to compare them with 'conventional' investments.

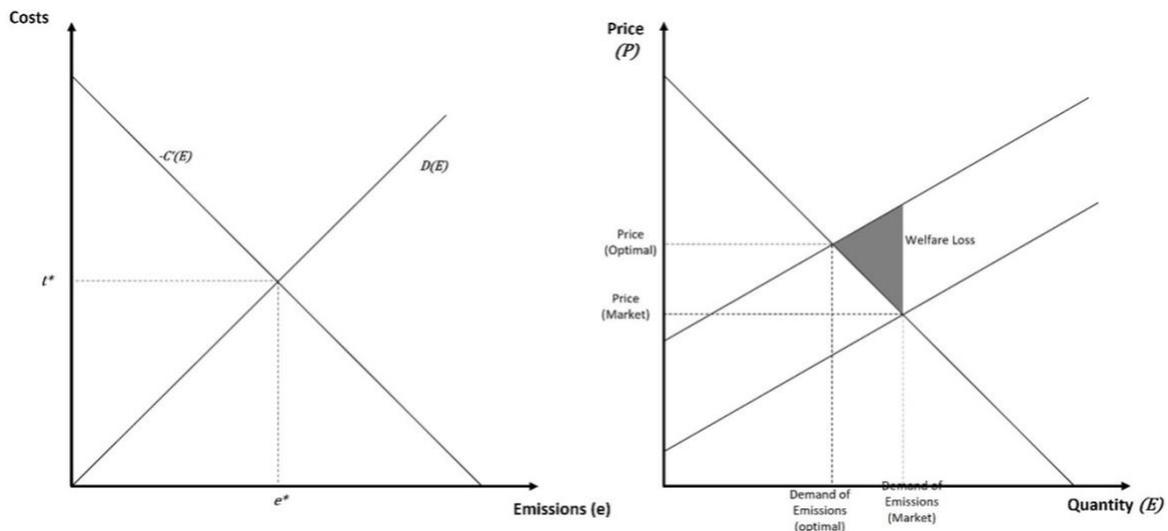


Figure 1: Equilibrium model with an insufficient internalization of emissions, Source: Own illustration, orientated at Phaneuf and Requate, 2016.

3. Application: Carbon footprint analyses (CFA) in European port projects

Like all other sectors, ports have only limited financial (and human) resources available. To reduce the external costs of trade, high investment costs are required to avoid these externalities. In the context of port development, cost-benefit analyses (CBA) can be grouped under structuring economic impacts (et al. productivity, efficiency, competitiveness), social and environmental impacts (et al. public safety, improved mobility, reduced emissions), and finally under social and environmental impacts (among others reduced noise, and improved standard of living). Always with the aim of reducing externalities and increasing benefits, respectively decreasing costs (Port of Vancouver 2020). In recent investment decisions,

However, regarding the classification of ports' investment decision in a cost-benefit model, it should also be stated that as a first step, the objects of comparison between conventional and 'green' investments must be defined. Usually, business-as-usual is used as the conventional investment option to draw an appropriate comparison (Jahn and Wedemeier 2018, 2021; Nitt-Driesselmann and Wedemeier, 2021). The business-as-usual (or do-nothing) can be used as a so-called counterfactual scenario, a scenario where no action is taken. A 'conventional' investment is insofar an investment that would be realized if no 'green' investment were implemented. 'Green' investment is an investment to avoid social costs of externalities, i. e. emissions. Moreover, in most cases, it is also useful to differentiate between the implementation and operation phases of a project in the analyses and finally evaluate them in the overall view. Thereby, operating costs include all the costs to operate a port service. Cost forecasts can be based on historic data on costs. Although the actual composition is project-specific, typical operation costs include labor costs, materials, or energy costs, including emission taxes (European Commission 2014). For example, when renewing energy-efficient heating systems in ports, investment costs for a 'conventional' heating system may be lower than for the more energy-efficient technology.

However, since the 'green' investment can be operated more cost-effectively and with lower emissions than the 'conventional' system because of its lower energy consumption, the 'green' variant may prove to be the better choice of investment over the total life cycle, considering all economic and social costs. Just as costs vary at different points in the life cycle of an investment, emissions impacts can also vary. Therefore, a distinction ought to be made between implementation and operation periods, and emissions should be recorded and assessed separately (European Commission 2015; Froese et al. 2019). With the prospect of rising CO₂ prices and the expansion of port sector that will additionally be covered by emissions trading in close future, including GHG emissions in CBAs, i.e., the addition of CFAs to analyses, becomes increasingly relevant. Currently, the most recently updated Dynamic Integrated model of Climate and Economy (DICE) model suggests a carbon price of around USD 100 per ton of CO₂e (Hänsel et al. 2020).

In a European joint-research project, a methodology was developed with which data-based comparisons of the economic and environmental (business) profitability of investments in the context of ports' measures were carried out. In doing so, it is essential to define the observed business units (port area) as relatively small to be able to achieve precise

and accurate measures of the related emission externalities. In addition, the definition of the port type – et al. public service port, private service port, landlord port – is important to get information for the treatment of financial flows (Froese et al. 2019; Jahn and Wedemeier 2018). The measures are based on cost-benefit analyses (CBA) and carbon footprint analyses (CFA). The results of the analyses illustrate that ports can develop comparative competitive advantages through the internalization of externalities decarbonization, i.e., the utilization of 'green' instead of 'conventional' investments and processes.

Ports can reduce their externalities in various areas of activities. This can involve the use of alternative materials in the construction or maintenance of port infrastructure, the replacement of existing facilities with more energy-efficient variants, the provision of alternative fuels, the implementation of recent technologies and services, or changes in business or management processes. Depending on the specific project, the necessary information available in each case flows into the analysis. It is, therefore, possible to use this method to evaluate measures for which individual pieces of information are missing or cannot be collected.

The calculation of the economic and environmental performance of the analyzed project(s) occurs through a differentiation of the implementation and operation phases. The implementation phase consists of the planning, construction, and start of the individual investment. As such all capital costs and emissions are required and emitted during the previously mentioned implementation steps (European Commission 2014). The operation phase on the other hand exceeds the implementation and is shaped by the operation and maintenance of the constructed infrastructure and implemented services. Examples of the associated costs can include labor costs, expenditures for required materials, and energy costs. Hence, emissions and costs that come up during that part of the investment are attributed to the investment costs (European Commission 2014.).

The CBAs were carried out within the framework of the European joint-research project. The ports' decision of 'green' and 'conventional' investment includes in the analysis of total investment and operating costs, as well as external effects in the supplementary CFA. The external effects were differentiated according to whether they occurred during the implementation of the measure or during ongoing operation. Indirect externalities were also recorded in the CFA and additionally included in the assessment. The costs of GHG emissions are equal to $VGHG \cdot CGHG$, where VGHG is the incremental volume of GHG emissions produced by the project, expressed in CO₂ equivalents, and CGHG is the damage cost of

CO2. The detailed differentiation of the various cost aspects and emission levels made it possible to evaluate investment alternatives. The utilization for the analyses of port investments requires various information and data. The analysis is briefly as follows:

- (1) Available information of the investment(s). These include among others the sum of required financial resources for the implementation (over the whole implementation period) and the scrap value, i.e., residual value, after the appraisal period or operation period. The scrap value of the investment is considered at the end of the appraisal reference period. The scrap value is calculated based on the residual non-depreciated accounting value (European Commission 2014). The sources of financing are also relevant (e. g. EU grant/co-financing) such as the effective interest rate (p.a.) for the project (no difference between conventional and green investment allowed).
- (2) Externalities of the implementation and the operation phase: The input is estimated through the energy consumption, which can directly be attributed to the investment projects. An overall lower energy consumption might reduce the indirect GHG emissions. The GHG emissions reduction can be quantified the reduction through the energy mix and hence might change with a different composition of energy sources (e. g. wind instead of diesel) sources. The energy consumption (kWh) is needed for the calculation – differentiated between energy sources – whereby the national energy mix, including the grid loss/emission factor, must be considered (EIB, 2014; Jahn and Wedemeier 2021).
- (3) The specific limit values for the emissions are converted into CO_{2e} /g/kWh and factors are formed according to specific emissions from energy use (without grid electricity), e.g. marine diesel has a CO_{2e} g/kWh value of 301.789 and hydropower a limit value of 2.787 (IINAS 2017).
- (4) The applied methodology considers the purchased electricity with a country specific grid emission (lost) factor. This factor is converted from t CO₂ into t CO_{2e}/kWh, adjusted for the national share of green grid electricity (EIB 2014).
- (5) A qualitative description of the EU-port project, including background information such as the type of port (e. g. Public Service

Port) and port activities and services (e. g. marine terminal operator, ISM, or subcontractor) is retrieved. This serves as an initial classification and allows for a more holistic analysis and a general overview.

For more details, please confer to the applied CBA/CFA tool available at: <http://hdl.handle.net/10419/186137>

Seven pilot projects were evaluated for the joint European research project. These seven include all different port investments which are (1) the treatment of contaminated soil directly at the port, (2) the generation of renewable energy on the port site and its use for the provision of district heating, and (3) the use of 'green asphalt' that binds pollutants and is more efficient to produce. Additionally (4) the application of LED lighting systems was tested, (5) the construction of LNG bunkers was considered, and the use of recycled materials for port construction projects was experimented. These projects are EU-wide best practice examples; the results are not directly transferable to other ports. For more information, see Nitt-Driesselmann et al. (2022).

To better illustrate the use of a CBA/CFA for the economic and environmental improvement of a port, a LED pilot for the port of Emden, Germany acts as a prime example. The idea behind the pilot is that the lighting systems of a track field area of the port had to be replaced and two options were available: a 'conventional' lighting system with lower initial investment costs but with higher annual operating costs and a more efficient LED system that had higher investment but lower operating costs. Viewing just the economic dimension, we see a 3% reduction in yearly operating costs and a 3% total cost reduction over an investment span of 20 years. Shifting the focus to the environmental dimension, the calculation of the carbon footprint occurs based on the report by Jahn and Wedemeier (2018). Compared to the conventional investment, LED lighting systems only require around 20% of electricity. Using energy from the German electricity grid emits around 527g CO_{2e}/kWh (EIB 2014) and hence investing in the LED lighting system results in an 80% reduction of carbon emissions with only 10.83 tons of CO_{2e} p.a. compared to 54.13 tons of CO_{2e} p.a. In the model calculation of the presented tool itself, the national electricity grid emits are calculated country wise, since the grid loss according to infrastructure age and systems differs between the EU countries (Jahn and Wedemeier 2018a). With estimated social costs of CO₂ ranging from 33€ in 2018 to 45€ in 2045, choosing the green investment alternative would also cause around 20%

of social costs compared to the conventional investment (Umweltbundesamt 2017).

Compared to conventional investment, CO₂ emissions were reduced in the research project with each of the seven 'green' alternatives investigated. In four 'green' pilots, the relative savings potential (in percent) compared to the 'conventional' alternative was rated as very high. In terms of absolute CO₂ savings in tons, one project (district heating) proved to be particularly promising. For five projects, the total cost of the green investment was below that of the conventional investment, and for two projects (LNG bunkering) it was above. With one project – the usage of recycled construction materials – the green investment achieved only medium percentage savings

in total costs and only small percentage savings in CO₂ emissions compared to the conventional method, but the total cost saved per ton of CO₂ saved was almost 15,000€. Some decarbonization measures thus proved to be low-hanging fruit, where high emissions savings could be achieved with simple-to-implement measures and low-cost investments (see table 1).

Besides the realization of individual measures, implementing 'green management' in the operation of a port has proven to increase the efficiency. If business processes are incrementally scrutinized, energy-saving and further emission reduction potentials are identified and communicated to management and employees, ports can reduce not only private but also social costs of externalities.

Pilot	Potential for the reduction of total costs	Potential for the reduction of CO ₂ emissions	CO ₂ savings in tons	Saved or additional total costs (Euro) for each saved ton of CO ₂
Local sediment treatment	***	***	615	8.767 €/t CO ₂
Onsite Renewable Energy production	***	***	72.619	74 €/t CO ₂
Use of Recycled Construction Materials for Port Construction	**	*	90	14.704 €/t CO ₂
LED-Lighting	*	***	43	4.041 €/t CO ₂
Green Asphalt	None	***	6	-1.506 €/t CO ₂
LNG-Bunkering	None	***	2.811	-1.460 €/t CO ₂

† Positive numbers are reductions in emissions and costs while negative values are increases in costs and emissions

Total cost reduction (Ports goal: -20 %)	Total CO ₂ emissions reduction (Ports goal -10 %)	The ratio of the saved total cost (Euro) and CO ₂ emissions (tons)
None ≤ 0	* ≤ 5 %	The absolute value of total costs saved divided by the absolute value of saved tons of CO ₂
* > 0 and < 10 %	** > 5 % and ≤ 10 %	
** ≥ 10 % and < 20 %	*** > 10 %	
*** ≥ 20 %		

Table 1: Potential for the reduction of total costs and CO₂ emissions with green investment in EU-ports. Source: Own illustration

4. Discussion: Triple bottom line (TBL) framework

The triple bottom line (TBL) framework brings in arguments for the internalization of social costs (and benefits), i. e. costs of externalities by a firm which affect others. Simply defined, it is the idea that firm's success cannot only just be measured by private benefits but also must integrate their externalities as environmental and social (Norman and MacDonald 2004). Even more, it is adequate to speak of social sustainability, i. e. economic welfare and its allocation of resources affecting social welfare. Consistent with environmental and economic sustainability the focus on social costs ought to make sure that resources are managed efficiently, and externalities are marginalized. That could include for example access to public goods such as healthcare, and education (Mohammed et al. 2021). Externalities – and public goods as port infrastructure – are sources of market failures – and insofar relevant for public policy (Pindyck and Rubinfeld 2018). In reference to the presented best-practice examples of ports, it ought to be reflected that the social costs are not fully included. While the overall social costs of carbon emissions are factored, a concrete quantification of the social costs and benefit could not be carried out. The reasoning lies in the complexity of quantifying social costs and, more importantly, in the lack of data (and definitions). This represents a gap that future research ought to fill. To put the results of the European research project into the context of the triple-bottom-line, one can see the simultaneous consideration of economic and environmental performance. Using objective benchmarks or standard indicators, we see that the positive performance of one bottom line is not mutually exclusive with the other one. The increase of firms' efficiency diminishes the externalities on human health because of fewer emitted fine particles, reduced noise, and light emissions.

A port offers a value proposition to its region and hinterland (e.g., port of Oostende, Belgium) such as its country and beyond (e.g., port of Rotterdam, the Netherlands) as it offers economic and social benefits. However, ports are always vulnerable to environmental and economic constraints. Significant increases in port throughput increase the pressure for the further development of new, efficient port infrastructure. The need to react is immense, especially with ports being capital-intensive infrastructures and the ever-increasing demand for sufficient and reliable shipping infrastructure. This becomes particularly clear as port development and world trade are closely interrelated (Notteboom et al. 2022). Highlighting the importance of the social bottom line is the development of the ongoing Russo-Ukrainian war. The current military war between the Russian Federation and Ukraine has brought the dependence of the European Union on

Russian energy imports clearly to the attention of politicians and the public. The rising threat of the energy supply to the European market presents the ports as bottlenecks for the import and export of goods. The combination of rising energy insecurity, energy prices resulting in high inflation, and the increase in private costs of energy hit the demand market (Claeys and Guetta-Jeanrenaud 2022; Rees and Rungcharoenkitkul 2021; Wang and Man 2022).

This international crisis highlights the risks of fossil path dependency that can arise for European economies from a lack of energy imports and rising energy prices. Greater self-reliance in energy supply and the loosening of bottlenecks would directly strengthen the resilience of economies and influence the foreign policy position of nations (Dźwigoń et al. 2019; Martišauskas 2018; Miller 2010). If the CBA/CFA is expanded to include previously unconsidered fields of action, such as issues of national security or economic resilience, its informative value expands. Instead of the previously included goals of selecting infrastructure projects that are as cost-efficient and environmentally friendly as possible using a combined CBA/CFA, an expanded canon of goals would then be pursued.

As an example of an extension of the CBA/CFA to include safety aspects, the LNG pilot described above in the EU project already mentioned can be cited. Although the 'green' alternative of LNG bunkering has a high savings potential in CO₂- emissions compared to the 'conventional' investment (For more information, see Nitt-Driesselmann et al. 2022), Germany has just changed its policy for LNG terminals, as it has seen so far not need since it was assumed to cause higher overall costs than the 'conventional' alternative. However, if one now also considers the aspect that LNG bunkering in ports will reduce dependence on Russian gas and thus increase the competitiveness of the German economy, a different overall calculation may result. Here, too, the decisive factor for the overall assessment is how the impact of LNG bunkering on the EU's security and competitiveness is evaluated and with what monetary value it is included in the overall cost and benefit calculation. From the point of view of an economy, the new international crises and the looming conflicts between democratic and autocratic states is a rising world of externalities.

To sum up, a study on the infrastructure needs of European seaports (EU-27) balance that ports face a substantial investment need of around 48 €billion (5 €billion annually) for the period until 2027 (ESPO 2018). However, it is necessary not to carry out the port investments exclusively as replacement investments, but on the one hand to make them sustainable, efficient, and progressive to implement them according to the triple bottom line framework: The strategy of European ports underlines the

relevance to the further development of cost-benefit analysis (CBA) in order to be able to depict the social costs of projects for the European's added value and gross domestic product (ESPO 2018). This article is a contribution to that discussion. Insofar, the TBL framework brings in arguments for the adoption of social, environmental, and economic externalities.

It is important to critically reflect on the notion that with the internalization of environmental and social costs fundamental challenges such as climate change can be properly addressed. The presented combined CBA/CFA underlies assumptions to simplify the 'real economy' into a micro-economic model (Phaneuf and Requate 2016). However, our model shows that assessments of 'project alternatives' benefit to ensure the sustainability objective of investment. In both cases, the resulting optimum differs from the efficient optimum of the conventional cost-benefit criterion, but the basic cost-benefit model remains intact (Barbier et al 1990). Current developments observe a continuing use of resources and energy, since the 1970s' resource use has tripled. Thus, one ought to not see the combined CBA/CFA analyses as an aid to holistically address environmental and social challenges but to assess the economic and environmental performance of investments (Erb et al. 2014; Haberl et al. 2011).

5. Conclusion

The European Union is pursuing ambitious climate targets of reducing overall greenhouse gas emissions by 55% until 2030. Hence, the need for transformation is high in many areas of the economy. In this context, the sectoral transformation of ports is of particular importance because of the considerable environmental impacts of intra-European and international shipping. Cost-benefit (CBA) and carbon footprint analyses (CFA) can be applied when investments need to be assessed in terms of both economic and environmental costs. It does not matter whether the investments are mandatory or whether they involve the renewal of infrastructure or an expansion of the port service portfolio.

However, the European Sea and Port Organisation (2022) anticipates that the maritime sector will be included in the European Emissions Trading Scheme (EU ETS). That would automatically require the maritime sector incl. ports to internalize externalities in their business operations and make the CBA/CFA even more relevant. Negative externalities encourage port development to remain as usual in the industry.

The limitations of the methodology and the paper at hand are the missing inclusion of social costs with regard to human health or work. While social costs per ton of CO₂e are included, a thorough quantification and comparison of social costs and

benefits are left out. Consistent with the previous limitation, only pollutant emissions are recorded, but not, for example, light or noise emissions from port activities. It neither considers, for example, property value losses through noise emissions because of the physical proximity of ports nor the benefit of social amenity gains or the increase of human health. The applied methodology itself is a simplification to provide port management with an analysis for more efficient investments. Besides economic and environmental aspects, other perspectives can also be addressed with the combined CBA/CFA. Most critical, the CBA is subject to the usual problems with CBA is (i) the availability of data, (ii) the definition and identification of externalities, (iii) the use of subjective assessment and classification of the data for the effects, and (iv) and the monetization of intangible impacts. While the explained CBA/CFA and the provided methodology can aid in evaluating investments according to their economic and ecological performance, it is important to highlight that the calculation behind underlies typical economic assumptions as neoclassical functions and expectations such as usual inputs factors of the European Investment Bank. The general criticism of CBA in the context of environmental economics often goes so far that cost-benefit analysis is essentially subject to a methodological misconception to this day. The core is almost always the lack of data, which can often only be done in the past (Ackerman et al. 2005).

Consistent with the triple bottom line (TBL) framework, which aims to achieve a lasting balance between economic, ecological, and social sustainability, analysis tools for infrastructure investments such as cost-benefit analyses (CBA), and carbon footprint analyses (CFA) should increasingly take all relevant aspects of sustainability into account. As an example, the importance of LNG bunkering has increased in the wake of the war in Ukraine. In European governments, the realization quickly took hold that reducing demand for fossil energy imports strengthens the resilience of national economies besides ecological aspects and thus significantly expands the scope for public policy. Considering the current inflation of prices, increasing the independence from fossil fuels and building efficient port infrastructure by avoiding negative effect on third parties becomes even more relevant. This can relieve supply chain bottlenecks, the price pressure on firms and relieve the strain on consumers struggling with price increases.

However, at the latest with the publication of Pigous 'The Economics of Welfare' (1920) the effects of the market through externalities on environment are known. It is up to the ports to internalize their externalities to continue to be the gateway to the world.

Literatur

Acemoglu D, Laibson D, List J (2016): Economics. Harlow.

Ackerman F, Heinzerling L, Massey R (2005): Applying Cost–Benefit to Past Decisions: Was Environmental Protection Ever a Good Idea? *Administrative Law Review*, 57(1), pp. 155–192.

Alamouh A S, Ballini F, Ölçer A I (2021): Revisiting port sustainability as a foundation for the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs). *Journal of Shipping and Trade*, 6(19), pp.1–40, DOI: 10.1186/s41072-021-00101-6

Barbier E B, Markandya A, Pearce D W (1990): Environmental Sustainability and Cost-Benefit Analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 22(9), pp. 1259–1266, DOI: 10.1068/a221259

Boadway R (2006): Principles of Cost–Benefit Analysis. *Public Policy Review*, 2 (1), pp. 1–44.

Claeys G, Guetta-Jeanrenaud L (2022): Who is suffering most from rising inflation?, Brussels. Retrieved from <https://www.bruegel.org/2022/02/who-is-suffering-most-from-rising-inflation/> [access 01.10.2022].

Deutsche Welle (DW) (2022): EU unveils plan to reduce Russia energy dependency: DW: 08.03.2022. DW.COM. Retrieved from <https://www.dw.com/en/eu-unveils-plan-to-reduce-russia-energy-dependency/a-61047997> [access 01.09.2022].

Dźwigoł, H, Dźwigoł–Barosz M, Zhyvko Z, Miśkiewicz R, Pushak H (2019): Evaluation of the energy security as a component of national security of the country. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 8(3), pp. 307–317. DOI: 10.9770/jssi.2019.8.3(2)

Erb K, Niedertscheider M, Dietrich J P, Schmitz C, Verburg P H, Jepsen M R, Haberl H (2014): Conceptual and empirical approaches to mapping and quantifying land-use intensity. *Ester Boserup's Legacy on Sustainability*, pp. 61–86. DOI: 10.1007/978-94-017-8678-2_5

European Commission (eds.) (2015): Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects: Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014–2020., Brussels. DOI: 10.2769/97516

European Commission (eds.) (2020): Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, Brussels.

European Environmental Agency (EEA) (eds.) (2022): European Maritime Transport Environmental Report 2021, Luxembourg. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/maritime-transport/> [access 15.07.2022].

European Investment Bank (EIB) (eds.) (2013): The Economic Appraisal of Investment Projects at the EIB, Projects Directorate, Luxembourg.

European Investment Bank (EIB) (eds.) (2014): Induced GHG Footprint, Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions, Version 10.0, Luxembourg.

European Sea Ports Organisation (eds.) (ESPO) (2022): Maritime EU ETS: Europe's Ports Call For An Ambitious Scope That Avoids Carbon And Business Leakage, Brussels. Retrieved from <https://www.espo.be/news/maritime-eu-ets-europes-ports-call-for-an-ambitiou>.

European Seaports Organisation (ESPO) (eds.) (2018): The infrastructure investment need and financing challenge of European Ports, Brussels.

Eurostat (2022): International trade in goods by mode of transport. Eurostat Data Browser. European Commission. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_goods_by_mode_of_transport&stable=0 [access 15.09.2022].

Fenhann J V (2017): CO2 Emissions from International Shipping. UNEP DTU Partnership Working Paper Series 2017 Vol. 4.

Forsyth P, Niemeier H M, Njoya E T (2021): Economic Evaluation of Investments in Airports: Recent Developments, *Journal of Benefit Cost Analysis*, 12(1), pp. 85–121, DOI: 10.1017/bca.2020.31

Froese J, Jahn, M, Wedemeier J, Wuczkowski M (2019): Action plan: Low carbon regional ports, HWWI Policy Paper 119, Hamburg.

Haberl H, Fischer-Kowalski M, Krausmann F, Martinez-Alier J, Winiwarter V (2011): A socio-metabolic transition towards Sustainability?

Challenges for another great transformation. *Sustainable Development*, 19(1), pp. 1–14. DOI: 10.1002/sd.410.

Hänsel M C, Drupp M A, Johansson, D J, Nesje F, Azar C, Freeman M C, Groom B, Sterne T (2020): Climate Economics support for the UN climate targets. *Nature Climate Change*, 10(8), pp. 781–789. DOI: 10.1038/s41558-020-0833-x

International Maritime Organization (IMO) (eds.) (2022): Third IMO GHG Study 2014: Executive Summary and Final Report. London. Retrieved from <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf> [access 01.09.2022].

Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS) (eds.) (2017): GEMIS - Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, Version 4.95, Retrieved from <http://iinas.org> [access 01.06.2017].

Jahn M, Wedemeier J (2018): Developing low carbon port potential: Cost-benefit & carbon footprint analyses, HWWI Policy Paper 111, Hamburg.

Jahn M, Wedemeier J (2021): Developing low carbon port potential: Cost-benefit & carbon footprint analyses, EXCEL Tool, Hamburg. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10419/186137> [access 14.03.2023].

Koopman C, Mouter N, (2020): Cost-Benefit Analysis, *Advances in Transport Policy and Planning* 6(2020), 1-42, DOI: 10.1016/bs.atpp.2020.07.005

MARAD (eds.) (2020): Preparing a Benefit-Cost Analysis for a Port Infrastructure Development Program Grant, U.S Department of Transportation, March 2020, Washington.

Martišauskas L, Augutis J, Krikštolaitis R (2018): Methodology for energy security assessment considering energy system resilience to disruptions. *Energy Strategy Reviews*, pp. 22, 106–118. DOI: 10.1016/j.esr.2018.08.007

Miller G D (2010): The security costs of Energy Independence. *The Washington Quarterly*, 33(2), pp. 107–119.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (eds.) (NASSEM) (2017). *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. Washington, DC: The National Academies Press.

Nitt-Driesselmann D, Wedemeier J (2021): Green port development — Welche Rolle kommt Häfen bei der Erreichung der Klimaziele zu?, *Wirtschaftsdienst*, 101(4), pp. 290–293. DOI: 10.1007/s10273-021-2897-2

Nitt-Driesselmann D, Steffens L, Wedemeier J (2022): Port economy. DUAL Ports CBA/CFA. HWWI-Update (2022), Hamburg. Retrieved from <https://update.hwwi.org/index.php?id=9349> [access 14.03.2023].

Nordhaus W, Yang Z (1996): A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies, *American Economic Review*, 86(4), pp. 741-765.

Norman W, MacDonald C (2004): Getting to the bottom of “Triple bottom line”. *Business Ethics Quarterly*, 14(2), pp. 243–262. DOI: 10.5840/beq200414211

Notteboom T, Pallis A, Rodrigue J P. (2022): *Port Economics, Management and Policy*, 1st Edition, New York.

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (eds.) (2018): *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use*, Paris.

Pearce D, Atkinson G, Mourato S (2006): *Cost-Benefit Analysis and the Environment – Recent Developments*. OECD (eds.), Paris.

Phaneuf, D J.; Requate, T (2017): *A course in environmental economics: Theory, policy, and Practice*, Cambridge.

Pindyck R S, Rubinfeld D L (2018): *Mikroökonomik*, 7. aktualisierte Auflage, München.

Port of Vancouver (eds.) (2020): Summary of cost-benefit/impact analyses. Projects and initiatives to be cost recovered through GIF2022, November 2020, Vancouver.

Rees, D., Rungcharoenkitkul, P. (2021): *Bottlenecks: causes and macroeconomic implications*. Bank for International Settlements, Vol. 48, pp. 1–7. Basel.

Umweltbundesamt (eds.) (2017): *Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme*, Retrieved from www.probas.umweltbundesamt.de [access 18.04.2017].

Wang C, Man Y (2022): Major Shipping Firm Sees Signs of Supply-Chain Bottlenecks Easing. Bloomberg News, New York, NY. Retrieved from: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-27/major-shipper-sees-signs-of-supply-chain-bottlenecks-easing> [access 17.03.2022].

Weisbrod G (2008): Models to predict the economic development impact of transportation projects: historical experience and new applications. *The Annals of Regional Science*, 42(3), pp. 519-543. DOI: 10.1007/s00168-007-0184-9

Authors

Dr. Jan Wedemeier, Hamburg Institute of International Economics (HWWI), Stellv. Leiter Räumliche Ökonomik, Fahrenheitstr. 1, DE-28359 Bremen, wedemeier@hwwi.org, ORCID: 0000-0003-0659-9926

Lasse Steffens, Hamburg Institute of International Economics (HWWI), Räumliche Ökonomik, Fahrenheitstr. 1, DE-28359 Bremen, steffens@hwwi.org, ORCID 0000-0002-5395-6394

Acknowledgement:

We would like to thank Dörte Nitt-Driesselmann, Hamburg Institute of International Economics for numerous comments and hints.

Disclosure Statement:

The authors report there are no competing interests to declare. This work was co-funded by the INTERREG North Sea Region EU-Programme (European Regional Development Fund) 2014-2020 under Grant J-No: 38-2-7-15

Data availability:

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, Jan Wedemeier, upon request. The used tool is available at: <http://hdl.handle.net/10419/186137>

Modellbasierte Ermittlung von verkehrlichen Potentialen eines stadtbahnbasierten Gütertransports im Projekt LogIKTram in Karlsruhe

Lukas Barthelmes*, Emre Görgülü, Jelle Kübler, Martin Kagerbauer, Peter Vortisch

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Als Reaktion auf das steigende Paketaufkommen werden neue, nachhaltige Konzepte der City-Logistik gesucht. Eine Lösung kann die Nutzung der bestehenden städtischen Schieneninfrastruktur über Cargo Trams sein. Um die verkehrlichen Wirkungen eines derartigen Konzepts quantifizieren zu können, wird in dieser Arbeit ein Güterverkehrsmodell für den Pakettransport, mit Fokus auf gewerbliche Paketnachfrage, vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine Cargo Tram grundsätzlich positive Effekte auf den Verkehr zu erwarten sind. Das Potenzial hängt jedoch stark von verschiedenen Faktoren wie der Anzahl und Lage der City Hubs ab.

Schlagwörter / Keywords:

City-Logistik, Pakettransport, intermodal, agenten-basiert, Verkehrsnachfrage, Cargo Tram

1. Einleitung

Aufgrund des Rückgangs des lokalen Handels und des starken Anstiegs des E-Commerce-Geschäfts ist seit einigen Jahren ein massiver Anstieg des Paketaufkommens zu beobachten. Es sind vor allem städtische Gebiete, die bereits jetzt zunehmend unter der Überlastung der Straßeninfrastruktur, Flächenkonflikten sowie steigenden Verkehrsemissionen und damit sinkender Lebensqualität für die BürgerInnen leiden. Um zu vermeiden, dass Kurier-, Express- und Paketdienstleister (KEP) die Anzahl ihrer Fahrzeuge erweitern, um auf die steigende Paketnachfrage zu reagieren, suchen StadtplanerInnen nach neuen Lösungen für nachhaltige City-Logistikkonzepte. Ein wichtiges Ziel für eine nachhaltige City-Logistik ist es, die Tonnenkilometer der transportierten Güter zu reduzieren oder auf "stadtverträgliche" Fahrzeuge umzusteigen.

Eine vielversprechende Lösung ist die Einrichtung von City-Hubs, die als zentrumsnahe Zwischendepots für Pakete zwischen dem Distributionszentrum außerhalb der Stadt und dem Empfänger der Pakete fungieren sollen. Auf der Strecke zwischen dem Distributionszentrum und dem City-Hub sollen Fahrzeuge mit höherer Kapazität eingesetzt werden, um eine effizientere Logistik zu ermöglichen. Ein solches Fahrzeug kann eine sogenannte Cargo Tram

sein. Da die städtische Schieneninfrastruktur bereits vorhanden ist und in vielen Städten weltweit bereits Straßenbahnen mit festen Fahrplänen eingesetzt werden, scheint diese Lösung eine vielversprechende Möglichkeit für eine nachhaltigere City-Logistik zu sein. In diesem Fall würde ein City-Hub als intermodaler Übergabepunkt fungieren. Die Feinverteilung vom City-Hub zum Kunden wird dann mit kleineren, umweltfreundlichen Fahrzeugen wie Lastenrädern durchgeführt.



Abbildung 1: Konzept der LogIKTram in Karlsruhe, Quelle: *modus: medien + kommunikation gmbh*

Für einen derartigen City-Logistik-Ansatz eignet sich das Karlsruher Verkehrssystem durch seine nahtlose Verknüpfung der Straßen- und Eisenbahn besonders gut. So werden im Projekt LogIKTram am Beispiel des Untersuchungsraums Karlsruhe konzeptionelle Grundlagen für den stadtbahnbasierten Paket-transport im Stadt- und

Regionalverkehr mit effizienten Umschlag- und Transportverfahren erarbeitet. Eine Vision des Konzepts ist in Abbildung 1 dargestellt. Schwerpunkt im Projekt bildet zudem die Untersuchung der verkehrlichen Wirkungen eines derartigen Konzepts. Dafür wird ein mikroskopisches Verkehrsnachfragemodell für den Güterverkehr entwickelt, dessen Konzeption, Umsetzung sowie erste Ergebnisse in dieser Arbeit vorgestellt werden.

Bekannte Güterverkehrsmodelle wie *GoodTrip* (Boerkamps & Binsbergen, 1999), *MASS-GT* (de Bok & Tavaszy, 2018) und *SimMobility* (Sakai et al., 2020) sind für das beschriebene Vorhaben nur bedingt geeignet. Zum einen wird der KEP-basierte Pakettransport nicht explizit berücksichtigt, während zum anderen hauptsächlich fahrzeugbasierte, aggregierte Datenquellen verwendet werden, deren Gebrauch durchaus mit hohen Beschaffungskosten verbunden ist. Des Weiteren bieten die genannten Modelle keine umfassende Grundlage für die Integration und Evaluierung neuer Verkehrsmittel wie der Cargo Tram und der dazugehörigen Umschlagsaktivitäten. Außerdem kommt hinzu, dass die gewerbliche Paketnachfrage bis auf wenige Ausnahmen (Llorca & Moeckel, 2021, Stinson et al., 2020) bislang wenig Beachtung in bestehenden Modellierungsansätzen gefunden hat. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit nach einem neuen mikroskopischen, agentenbasierten Modellierungsansatz, der die urbane Paketnachfrage auf Basis von öffentlich zugänglichen Daten gesamtheitlich abbildet und die Evaluation eines intermodalen Pakettransports per Cargo Tram und Lastenrad erlaubt.

2. Konzept

Modellierungsgrundlage für das in dieser Arbeit vorgestellte Vorhaben bildet das agentenbasierte Modellierungsframework *mobiTopp* (Mallig et al., 2013, Mallig & Vortisch, 2017). *mobiTopp* besteht aus zwei Modulen: einem Lang- und einem Kurzzeitmodul. Im Langzeitmodul wird eine synthetische Population für ein Untersuchungsgebiet generiert. Das Kurzzeitmodul simuliert die Fahrten der einzelnen Agenten und die damit verbundenen kurzfristigen Entscheidungen über Zielort und Verkehrsmittel. *mobiTopp* wurde bereits um das Logistikmodul *logiTopp* erweitert, welches als Open-Source-Projekt auf GitHub verfügbar ist (Kübler et al., 2022). Es generiert die private Paketnachfrage im Untersuchungsgebiet für eine Woche (Reiffer et al., 2021, Kübler et al., 2022). Damit wird die Paketzustellung an private EmpfängerInnen auf der letzten Meile in *mobiTopp* integriert. Zunächst wird mit einem diskreten Wahlentscheidungsmodell die Anzahl der Pakete ermittelt, die potentielle EmpfängerInnen (d.h. jede Person in der Bevölkerung) in einer Woche erwartet. Im

Kurzzeitmodul wird die Zustellung dieser generierten Pakete dann auf der letzten Meile simuliert. Doch auch *logiTopp* fokussiert sich auf die private Paketnachfrage und bildet insbesondere die Paketsendungen an Unternehmen nicht ab. Laut der jüngsten Studie des Bundesverbands der Paket und Expresslogistik macht aber genau dieser Bereich knapp ein Drittel aller Paketmengen aus (BIEK, 2022). Um alternative Zustellkonzepte im urbanen Raum zuverlässig modellieren und folglich bewerten zu können, ist eine Abbildung eben dieser notwendig.

Für die Untersuchung einer stadtbahnbasierten Paketbelieferung wurde daher ein Modellkonzept entwickelt und implementiert, welches die Paketsendungen von und zu Unternehmen mikroskopisch abbildet und sich in das bestehende Modellframework *logiTopp* und *mobiTopp* integrieren lässt. Darauf aufbauend konnte eine Logik entwickelt und implementiert werden, die neben den typischerweise eingesetzten Sprintern auch die Straßenbahn und Lastenfahräder als Verkehrsmittelkombination der Paketzustellung und -abholung berücksichtigt. Aufgrund der schlechten Verfügbarkeit relevanter disaggregierter Daten von Paketsendungen von und zu Unternehmen wurde zudem ein Datenerhebungskonzept entwickelt und umgesetzt, dessen Ergebnisse Grundlage der Modellierung bilden. Die Konzeption und Umsetzung aller drei Komponenten wird im Folgenden näher ausgeführt.

2.1 Paketnachfrage

2.1.1. Datenerhebungskonzept

Für eine zuverlässige Modellierung ist die Verfügbarkeit präziser Eingangsdaten eine zwingende Voraussetzung. Doch gerade diese stellt Forschende im Bereich des Güterverkehrs zunehmend vor Herausforderungen, insbesondere wenn es um die mikroskopische Modellierung von Güterströmen, und damit auch der Abbildung von Paketsendungen geht. Während Privatpersonen noch verhältnismäßig einfach z.B. zu ihrem Online-Shoppingverhalten befragt werden können, sind Unternehmen eine deutlich schwerer zu erreichende Zielgruppe. Somit ist es eine Herausforderung deren ein- und ausgehende Paketströme zu erfassen. Frei zugängliche, disaggregierte Datenquellen gibt es ebenso wenig, die eine explizite Modellierung der Paketzustellung zu Unternehmen erlauben würden. Aus diesem Grund haben wir ein Datenerhebungskonzept entwickelt, um hochrelevante Daten für die mikroskopische Modellierung des städtischen KEP-Verkehrs zu generieren, wobei der Schwerpunkt auf dem gewerblichen Segment liegt. Wir haben uns für einen Dual-Frame-Ansatz entschieden, der aus zwei sich ergänzenden Komponenten besteht. Die erste

Komponente ist eine Befragung von Unternehmen zur Ermittlung der ein- und ausgehenden Paketmengen und damit der Spezifikation der Nachfrage nach Transport. Die zweite Komponente bildet Interviews mit örtlichen KEP-Dienstleistern zur Erfassung relevanter Charakteristika des Zustellprozesses und damit der Spezifikation des Transportangebots. Beide Seiten, Transportnachfrage und -angebot, ergänzen sich inhaltlich gegenseitig und ermöglichen in einem kombinierten Ansatz ein vollumfängliches Bild über die Charakteristika des KEP-Verkehrs von und zu Unternehmen.

2.1.2. Modellierungsansatz

Die Konzeption und Umsetzung des Modells zur mikroskopischen Simulation von Paketsendungen von und zu Unternehmen baut auf dem vorgestellten Datenerhebungskonzept auf. Die Darstellung des Gesamtkonzepts befindet sich in Abbildung 2. Basis des Modells bilden Strukturdaten, die die einzelnen Unternehmen im Untersuchungsraum inkl. relevanter Metadaten wie z.B. Wirtschaftszweig etc. mikroskopisch abbilden. Diese Daten sind typischerweise nicht frei verfügbar, sondern nur über kommerzielle Anbieter zu erwerben, die dann z.T. auch modellierte Datenpunkte enthalten. Daher wurde ein eigenes Verfahren zur mikroskopischen Abbildung von Unternehmen im Modell entwickelt. Dieses erzeugt auf Basis öffentlich zugänglicher Daten aus OpenStreetMap (Unternehmensstandort und -typ) und einem Hochrechnungsverfahren mit offiziellen Statistiken eine mikroskopische, synthetische Wirtschaftsstruktur (vgl. Barthelmes et al., 2023). In Anlehnung an die bestehende Modellstruktur von logiToPP setzt sich das darauf aufbauende Modellkonzept aus drei Teilmodulen, dem Lang-, Mittel- und Kurzfristmodul, zusammen.

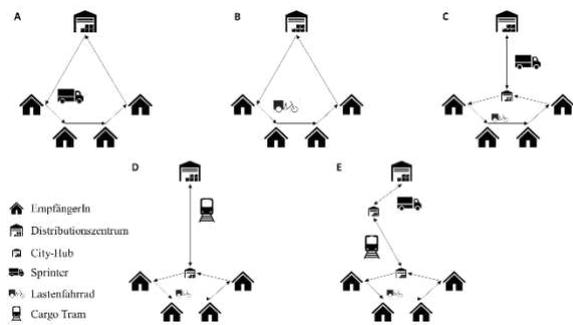
Im Langfristmodul wird zum einen die Nachfrage nach Transport durch Unternehmen, also das Mengengerüst der an- und auszuliefernden Pakete

modelliert. Neben der Menge wird u.a. auch die zeitliche Verteilung der Nachfrage über den Simulationszeitraum modelliert. Hierzu werden die Ergebnisse der Erhebung ebenso wie Studien aus der Literatur, allen voran die Paketmengenverteilung nach Wirtschaftszweigen von Thaller et al. (2019), verwendet. Neben dem Wirtschaftszweig werden weitere Einflussgrößen wie die Unternehmensfläche in die Nachfrageerzeugung integriert. Zum anderen werden im Langfristmodul KEP-Dienstleister modelliert, die das Transportangebot von Paketen übernehmen. Für eine realistische Abbildung werden dabei unterschiedliche Flottengrößen und -zusammensetzungen der jeweiligen Fuhrparks, des Dienstleistungsspektrums sowie der Betriebszeiten modelliert. Die Daten entstammen den Interviews sowie weiterer Recherchen und bilden damit den aktuellen Stand ab.

Im Mittelfristmodul werden im ersten Schritt beobachtbare Vertragsbeziehungen zwischen Unternehmen und KEP-Dienstleistern modelliert, da in der Praxis nicht jedes Unternehmen von jedem KEP-Dienstleister beliefert wird. Dazu wurde ein Greedy-Algorithmus entwickelt, der die Vertragsbeziehungen auf Basis der Marktanteile der KEP-Dienstleister, der Nachfragemengen der Unternehmen sowie der verfügbaren Transportkapazitäten der KEP-Dienstleister für jedes Unternehmen individuell festlegt. Im zweiten Schritt wird unter Berücksichtigung der individuellen Vertragsbeziehungen die tatsächliche Wahl getroffen, welches Paket von welchem Dienstleister ausgeliefert bzw. abgeholt wird. Die Modellierung dieser Entscheidung basiert auf einer gewichteten Zufallsziehung und findet separat für jeden Tag statt. Die entsprechenden Gewichte sind dynamisch und abhängig von der verbleibenden Transportkapazität eines jeden KEP-Dienstleisters pro Tag. Die Umsetzung des Mittelfristmoduls beruht ebenfalls auf Daten aus den Interviews sowie Studien aus der Literatur, insbesondere jene von Thaller et al. (2019).



Abbildung 2: Gesamtkonzept für die Modellierung der gewerblichen Paketnachfrage



Für eine detaillierte Darstellung wird auf Kübler et al. (2023) verwiesen.

Im Kurzfristmodul werden die tatsächlichen An- und Auslieferungstouren inkl. Sendungsgenerierung je KEP-Dienstleister modelliert. Dies umfasst die Zusammenfassung von einzelnen Paketen zu empfängerspezifischen Sendungen, die Zuteilung, mit welchem Fahrzeug die Zustellung erfolgt, die Tourenplanung sowie die Berücksichtigung verschiedener Zustellalternativen. Da sich dieser Prozess zwischen privaten und gewerblichen Empfängern nicht unterscheidet, wird hierbei auf die in logiTopp bereits implementierte Modelllogik zurückgegriffen. Die Darstellung des Modellkonzepts beschränkt sich in Error! Reference source not found. auf den Warenezustellprozess. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass das Konzept auch den umgekehrten Paketstrom, d.h. die Abholung, umfasst.

2.2 Integration der Cargo Tram in das bestehende Verkehrsmodell

Die Untersuchung der verkehrlichen Wirkungen eines ergänzenden, schienengebundenen innerstädtischen Pakettransports erfordert einen zusätzlichen Modellierungsaufwand, der über die bestehende Funktionalität etablierter Güterverkehrsnachfragemodelle im urbanen Raum hinausgeht. Im Gegensatz zur derzeit implementierten logistischen Verkehrsmittelwahl, z.B. in logiTopp, bei der ein Paket vom Distributionszentrum eines KEP-Dienstleisters zum Empfänger ausschließlich mit einem Transportmittel (i.d.R. Sprinter) befördert wird, lässt sich eine Paketzustellung mit einer Cargo Tram aufgrund der Abhängigkeit von der Schieneninfrastruktur nur als intermodale Transportkette realisieren. Im Projekt LogIKTram ist aktuell vorgesehen, Pakete in Lastenradboxen, die am Distributionszentrum des KEP-Dienstleisters beladen werden, zu transportieren. Diese werden in die Cargo Tram umgeschlagen, in die Stadt transportiert und dort von Lastenrädern übernommen und die entsprechenden Pakete ausgeliefert. Da ein KEP-Dienstleister nicht unmittelbar über einen direkten Gleisanschluss verfügt, muss auch ein Vorlauf, d.h. Abbildung 3: Relevante Transportkettenoptionen auf der ersten/letzten Meile

Transport der Lastenradbox vom Distributionszentrum zum Übergabepunkt der Cargo Tram, berücksichtigt werden. Zusammen mit den bestehenden Transportalternativen einer direkten Zustellung mit einem Verkehrsmittel ergeben sich die in Abbildung 3 dargestellten Transportketten.

Um die Transportketten im Modell abzubilden, wurde ein zweistufiges Transportkettenwahlmodell entwickelt, welches die Entscheidung über die gesamte Transportkette bereits im Distributionszentrum trifft, da auch hier die Lastenradboxen schon beladen werden müssen. Das entwickelte Transportkettenwahlmodell setzt sich aus einer regelbasierten sowie einer nachgelagerten, nutzenbasierten Entscheidung zusammen. Mit einem regelbasierten Ansatz wird zunächst ermittelt, welches Paket sich grundsätzlich für eine Belieferung mit der Cargo Tram eignet. Entscheidungsgrundlage bildet zum einen die Paketgröße, welche als zusätzliches Attribut auf Basis empirischer Daten modelliert wurde. Zum anderen wird auch die mit dem Lastenrad zurückzulegende Entfernung berücksichtigt, da diese üblicherweise auf einen Radius von 3-5km begrenzt ist. Auf Basis der Ergebnisse des regelbasierten Ansatzes wird nutzenbasiert, unter Anwendung eines Multinomialen Logit Modells, entschieden, welches Paket über eine Transportkette zugestellt wird, die die Cargo Tram enthält. Aufgrund der Neuartigkeit des Konzepts und damit fehlender Empirie werden nur die grundlegendsten logistischen Entscheidungsvariablen in der Nutzenfunktion für jede Transportkette berücksichtigt. Dazu zählen die Transportkosten, -entfernung und -zeit. Das entwickelte Modell wurde in das bestehende logiTopp-Framework integriert und damit eine Abbildung des LogIKTram-Konzepts erreicht.

3. Ergebnisse

3.1 Erkenntnisse aus Interviews und Erhebung

Die Experteninterviews wurden im ersten Quartal 2022 mit lokalen Niederlassungsleitern namhafter KEP-Dienstleister in der Untersuchungsregion Karlsruhe durchgeführt, darunter DHL, UPS, Hermes, Dachser und FedEx. In den jeweils 90- bis 180-minütigen Gesprächen konnten relevante Erkenntnisse und Gemeinsamkeiten in den Prozessen der Dienstleister identifiziert werden. Branchenüblich werden zurzeit fast ausschließlich Diesel-betriebene Transporter bis 3,5t eingesetzt, sodass noch großes Potential zur Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsträger besteht. Die Fachleute haben sich negativ über partielle Einfahrtbeschränkungen in Städten geäußert, die die Lieferzeitfenster stark beschränken und am Ende auf operativer Ebene zu mehr Liefertouren führen

würden als notwendig. Hieraus lässt sich Potential für alternative Zustellkonzepte ableiten. Weiterhin wurde klar, dass die Zustellmenge im Wochenverlauf starken Schwankungen unterliegt und auch innerhalb eines Tages vermehrt vormittags stattfindet, während Abholtouren am Nachmittag stattfinden. Dies betont die Notwendigkeit des im Modell gewählten Simulationszeitraums von einer Woche. Eine weitere Erkenntnis der Gespräche ist, dass gerade im B2B-Bereich die Zustellung und Abholung über Verträge zwischen Unternehmen und Logistkdienstleistern geregelt wird, welchem über eine dedizierte Modellierung Rechnung getragen wird.

Die Erhebung bei Unternehmen fand im ersten und zweiten Quartal 2022 statt und wurde als Online-Erhebung durchgeführt. Die Schwierigkeit bestand vor allem in der Rekrutierung von teilnehmenden Unternehmen. Nur mit erheblichem Aufwand konnte eine hinreichend große Anzahl an Unternehmen, vorrangig aus der Industrie und dem Handel, zum Ausfüllen des Fragebogens bewegt werden. Von knapp 100 Unternehmen, die mit der Beantwortung des Fragebogens begonnen hatten, haben knapp die Hälfte den Fragebogen vollständig ausgefüllt. Auch wenn in einer erneuten Befragung von einem Online-Format auf persönliche Gespräche umgestellt werden würde, konnten interessante und plausible Erkenntnisse zu Warenan- und -auslieferprozessen von Unternehmen gewonnen werden. Beispielsweise wurde klar, dass Unternehmen mehrheitlich täglich Paketan- und -ablieferungen erhalten, was die Notwendigkeit der Berücksichtigung dieses Segments bei der Modellierung von KEP-Verkehren unterstreicht. Für eine detaillierte Ergebnisdarstellung verweisen wir auf Barthelmes et al. (in Kürze erscheinend).

3.2. Paketbelieferung von und zu Unternehmen

Das in Kapitel 2 beschriebene Modellkonzept wurde auf die Untersuchungsregion Karlsruhe angewendet. Zunächst wurden insgesamt 15.366 Unternehmen inkl. der erwähnten Metadaten mikroskopisch synthetisiert und damit die Anzahl und Wirtschaftsstruktur der im Untersuchungsraum

ansässigen Unternehmen vollständig abgebildet. Für alle Unternehmen konnten dann mithilfe des beschriebenen Ansatzes die ein- und ausgehenden Paketmengen im Laufe einer Woche simuliert werden. Insgesamt erzeugt das Modell ca. 148.000 Pakete, die an Unternehmen geliefert werden, und knapp 231.000 Pakete, die von den Unternehmen für den Weitertransport abgeholt werden müssen. Die modellierten Paketmengen wurden mithilfe der auf den Untersuchungsraum skalierten BIEK-Studie (2022) plausibilisiert.

Die mikroskopische Abbildung der Unternehmen ermöglicht zudem auch die Analyse der flächenmäßigen Verteilung des Paketaufkommens bei Unternehmen. Abbildung 4 (links) zeigt dazu die räumliche Verteilung aller an Unternehmen zugestellte Pakete. Je dunkler eine Zone eingefärbt ist, umso höher ist das zugestellte Paketaufkommen. Es zeigen sich insgesamt plausible Ergebnisse. Die Industriegebiete mit einer hohen Unternehmensdichte im Westen und Osten der Stadt lassen sich klar erkennen, ebenso wie die dunkel schattierten Zonen im Stadtzentrum, in denen sich zahlreiche Einkaufsgelegenheiten befinden.

In Abbildung 4 (rechts) wird die Verteilung der Paketmengen zwischen den verschiedenen Sektoren der Unternehmen differenziert nach den ein- und ausgehenden Mengen dargestellt und jeweils mit den Ergebnissen der empirischen Studie von Thaller et al. (2019) verglichen. Es ist eine gute Übereinstimmung der sektorspezifischen Verteilung der modellierten und erwarteten Paketmengen für Zustellung und Abholung zu erkennen. Das betont, dass das entwickelte Verfahren zumindest auf der Ebene der verfügbaren Boxplot-Information eine geeignete Annäherung an die tatsächlichen Paketmengen darstellt. Unklar bleibt, wie gut die Verteilung zwischen den Kennzahlen getroffen wird. Dazu wären detailliertere Daten erforderlich.

Mithilfe des Greedy-Algorithmus und der Modellierung der Vertragsbeziehungen wird eine Verteilung der Pakete auf die KEP-Dienstleister entsprechend ihrer Marktanteile erreicht. Zudem findet eine Aufteilung der Paketmengen auf die einzelnen Wochentage statt. Die Ergebnisse für die

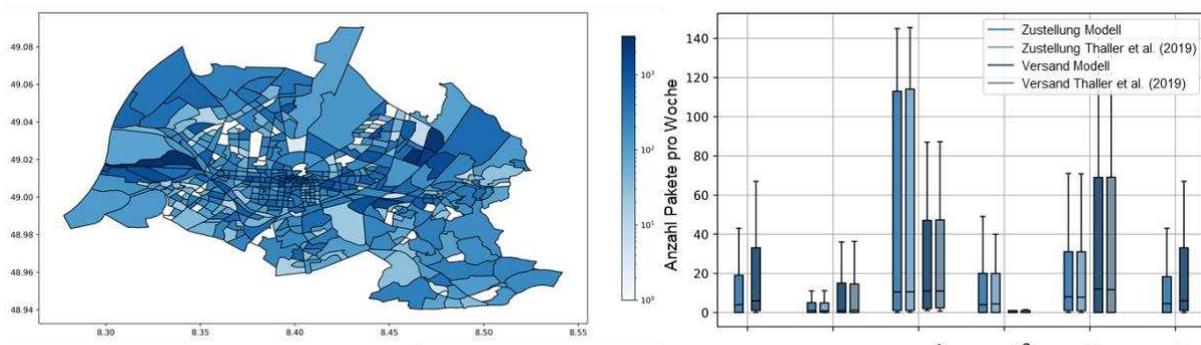


Abbildung 4: Flächenmäßige Verteilung der zugestellten Pakete (links); Vergleich Paketmengenverteilung nach Sektor zwischen Modell und Literatur (rechts)

abzuholenden Pakete sind exemplarisch in Abbildung 5 dargestellt. Die Paketabholungen haben einen Spitzenwert am Montag, der bis Freitag abfällt. Die Verteilung wurde auf Basis der Erkenntnisse aus den Interviews kalibriert und repräsentiert die Spitze der privaten E-Commerce Bestellungen am Wochenende, die die Unternehmen ab Montag versenden müssen.

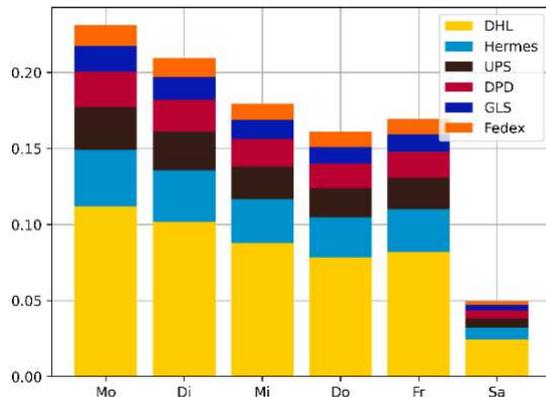


Abbildung 5: Wochenverteilung der ausgehenden Pakete von Unternehmen nach KEP-Dienstleister

3.3 Simulation des LogIKTram-Konzepts

Zur Simulation des LogIKTram-Konzepts wurde neben der beschriebenen gewerblichen Paketnachfrage auch die bestehende Nachfrage nach Paketlieferungen von Privatpersonen im Untersuchungsraum berücksichtigt. Insgesamt werden in der Simulation daher knapp 305.000 Pakete in der Zustellung an private und gewerbliche EmpfängerInnen innerhalb einer Woche betrachtet. Vor der Simulation mussten weitere Annahmen getroffen werden, die aufgrund der Neuartigkeit des Projektvorhabens noch nicht final geklärt sind. Da von einem kombinierten Personen- und Pakettransport ausgegangen wird, wurde für die Cargo Tram der Fahrplan der bestehenden Straßenbahn hinterlegt. Zudem wurden zwei Standorte für City-Hubs festgelegt, welche sich v.a. aufgrund ihrer Linienvielfalt und Lage als geeignet darstellen. Um verschiedene konzeptionelle Freiheitsgrade untersuchen zu können, wurde auf Basis der Eingangsgrößen im Transportkettenwahlmodell eine Szenarioanalyse durchgeführt. Während Parameter für Transportzeit und -kosten für alle Transportketten auf -1 festgesetzt wurde, wurde der Grundnutzen zwischen Transportketten mit und ohne Cargo Tram in den Szenarien variiert. Dies beeinflusst die nutzenbasierte Entscheidung. Weitere Variationsgröße bildet die Reichweite der Lastenräder, welche mit 3km und 5km in die Szenarien einging, und insbesondere die regelbasierte Entscheidung betrifft.

In allen Szenarien mit einer maximalen Lastenraddistanz von 3km ist für knapp ein Drittel aller Pakete die Belieferung über eine Cargo Tram möglich. Im Fall von 5km steigt dieser Anteil auf ca. 50%. Dieses Ergebnis hängt eng mit der gewählten Anzahl und Lage der City-Hubs zusammen, da diese maßgeblich das Potential der Abdeckung durch Lastenräder beeinflusst. Darüber hinaus spielt auch die Lage der Distributionszentren eine Rolle, denn bei einer max. Lastenraddistanz von 5km kann bereits knapp jedes fünfte Paket ausschließlich mit einem Lastenrad direkt vom Distributionszentrum des KEP-Dienstleisters ausgeliefert werden.

Da der Fokus unserer Studie auf der Analyse eines zusätzlichen schienengebundenen Pakettransports zum derzeitigen ausschließlichen Sprinter-Transport lag, konzentrieren sich die folgenden Ausführungen der nutzenbasierten Entscheidung auf den direkten Vergleich zwischen Sprinter und den Transportketten mit der Güterstraßenbahn.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Annahme identischer Grundnutzen für Cargo Tram und Sprinter bereits ein nicht zu vernachlässigender Anteil von bis zu 20% (bei einer maximalen Lastenraddistanz von 5km) eine Transportkette gewählt wird, die die Cargo-Tram enthält und damit auf einen nachhaltigeren Transportmodus umgestellt werden kann. Der Anteil steigt in unseren Simulationen auf knapp das Doppelte, wenn der Grundnutzen für die Cargo Tram dreimal höher ist als für den Sprinter. Im umgekehrten Fall (Grundnutzen Sprinter dreimal höher als Cargo Tram) fällt die Wahl auf eine Transportkette mit Cargo Tram nur noch bei 3-4% der Pakete, je nach max. Lastenraddistanz.

Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass grundsätzlich eine positive Wirkung durch eine Güterbelieferung via Straßenbahn zu erwarten ist, da Sprinter-Fahrten auf nachhaltigere Verkehrsmittel verlagert werden können. Neben der Anzahl und Standorte der City-Hubs wird klar, dass auch die Attraktivität der Cargo-Tram, welche sich u.a. im Grundnutzen widerspiegelt, eine wichtige Rolle für das Verlagerungspotential spielt. Genaue Aussagen z.B. zum zu erwartenden Verkehrsaufkommen je Verkehrsmittel erfolgen nach weiteren Detaillierungen und Validierungen der vorgestellten Modelle und bleiben im weiteren Projektlauf abzuwarten.

4. Zusammenfassung

Um die verkehrlichen Wirkungen einer intermodalen, schienenbasierten Paketbeförderung in Karlsruhe quantifizieren zu können, wurde in der vorliegenden Arbeit ein Modell zur mikroskopischen Simulation von Paketsendungen basierend auf öffentlich zugänglichen Daten vorgestellt. Fokus lag auf der Modellierung von Paketströmen zu und von Unternehmen, die in bisherigen Forschungsarbeiten

kaum berücksichtigt wurden, aber für eine vollständige Abbildung des Status Quo unerlässlich sind. Ergänzend wurde ein Erhebungskonzept entwickelt und in der Untersuchungsregion der Stadt Karlsruhe angewendet. Dadurch konnten vertiefte Einblicke über kritische Merkmale des Paketverkehrs im urbanen Raum gewonnen werden. In Kombination mit weiteren, öffentlich zugänglichen Datenquellen ist es gelungen, disaggregierte Nachfragedaten zu erzeugen und damit die Modellierung des Status Quo der Paketbelieferung zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde ein zweistufiges Transportkettenwahlmodell entwickelt, welches das bisher noch nicht berücksichtigte Verkehrsmittel einer Cargo Tram in die Verkehrsmittelwahl des logistischen Verkehrsnachfragemodells logiTopp integriert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass mit einer ergänzenden stadtbahnbasierten Paketbelieferung im urbanen Raum – wie es im Projekt LogiKTram für die Region Karlsruhe untersucht wird – grundsätzlich positive Effekte auf den Verkehr zu erreichen sind. Pakete können zu einem nicht unerheblichen Anteil auf nachhaltigere Verkehrsmittel verlagert werden, was Sprinterfahrten einsparen kann. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch große Schwankungen, die abhängig von verschiedenen Konzeptentscheidungen sind. Zum einen spielt die Standortwahl und Anzahl der City-Hubs eine zentrale Rolle. Je mehr City Hubs vorliegen, desto geringer kann die Reichweite von Lastenrädern ausfallen und umso größer ist das Potenzial für das LogiKTram-Konzept. Allerdings verursacht jedes City-Hub zusätzlichen Kosten und muss komplexe infrastrukturelle Voraussetzungen erfüllen, weshalb jedes City-Hub seitens der Stadt- und VerkehrsplanerInnen sowie KEP-Dienstleister gegen dessen induziertes Verlagerungspotenzial für das Verkehrssystem abgewogen werden muss. Zum anderen wurde die Bedeutung der Attraktivität der Cargo Tram anhand der Variation des Grundnutzens in der Verkehrsmittelwahl deutlich. Da Entscheidungen zur Transportkettenwahl von KEP-Dienstleistern getroffen werden, die in erster Linie an Kundenzufriedenheit und Kosteneffizienz interessiert sind, sollten VerkehrsplanerInnen und PolitikerInnen auch über ein geeignetes Anreizsystem oder gesetzliche Regelungen zur Förderung des schienengebundenen Transports nachdenken.

Danksagung: Den Unternehmen und den ExpertInnen, die an unserer Erhebung teilgenommen haben, sei gedankt. Die Forschung fand im Rahmen des Projekts „LogiKTram – Logistikkonzept und IKT-Plattform für stadtbahnbasierten Gütertransport“ statt und wurde ermöglicht durch eine Förderung des

Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland.

Literatur

- Barthelmes, L., Görgülü, E., Kübler, J., Kagerbauer, M., Vortisch, P. (2023), 'Microscopic agent-based parcel demand model for the simulation of CEP-based urban freight movements to and from companies'. Akzeptiert für Veröffentlichung in 'Advances in Resilient and Sustainable Transport', Springer
- Barthelmes, L., Görgülü, M.E., Kagerbauer, M., Vortisch, P. (in Kürze erscheinend), Data collection for microscopic modeling of urban freight transport - empirical insights into city-logistics in the region of Karlsruhe, Germany. Beitrag akzeptiert und vorgestellt auf European Transport Conference (ETC) 2022
- BIEK (2022), KEP-Studie 2022 – Analyse des Marktes in Deutschland.
- Boerkamps, J. & Binsbergen, A. V. (1999), GoodTrip – A new approach for modelling and evaluation of urban goods distribution. City Logistics E. Taniguchi and R. G. Thompson.
- de Bok, M. & Tavasszy, L. (2018), 'An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (mass-gt)', *Procedia Computer Science* 130, pp. 126–133
- Kübler, J., Barthelmes, L., Görgülü, M. E. & Reiffer, A. (2022), 'logitopp', <https://github.com/kit-ivf/logitopp>
- Kübler, J., Barthelmes, L., Görgülü, M.E., Kagerbauer, M. Vortisch, P. (2023), 'Modeling Relations Between Companies and CEP Service Providers in an Agent-Based Demand Model using Open-Source Data', Akzeptiert für Veröffentlichung in 'Procedia Computer Science', Elsevier
- Llorca, C. & Moeckel, R. (2021), 'Assesment of the potential of cargo bikes and electrification for last-mile parcel delivery by means of simulation of urban freight flows', *European Transport Research Review* 13(1), pp. 1–14.
- Mallig, N., Kagerbauer, M. & Vortisch, P. (2013), 'mobitopp – a modular agent-based travel demand modelling framework', *Procedia Computer Science* 19, pp. 854–859.
- Mallig, N. & Vortisch, P. (2017), 'Modeling travel demand over a period of one week: The mobitopp model', arXiv preprint arXiv:1707.05050.
- Reiffer, A., Kübler, J., Briem, L., Kagerbauer, M., Vortisch, P. (2021), An integrated agent-based model of travel demand and package

deliveries. *International Journal of Traffic and Transportation Management* 3, 17.

Sakai, T., Romano Alho, A., Bhavathrathan, B. K., Chiara, G. D., Gopalakrishnan, R., Jing, P., Hyodo, T., Cheah, L. & Ben-Akiva, M. (2020), 'Simmobility freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions', *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 141, 102017

Stinson, M., Auld, J. & Mohammadian, A. (2020), 'A large-scale, agent-based simulation of metropolitan freight movements with passenger and freight market interactions', *Procedia Computer Science* 170, pp. 771–778.

Thaller, C., Papendorf, L., Dabidian, P., Clausen, U. & Liedtke, G. (2019), *Delivery and shipping behaviour of commercial clients of the cep service providers*, Springer, Cham, pp. 205–220.

Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, Gebäude 10.30, 76131 Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: peter.vortisch@kit.edu

AutorInnenangaben

M.Sc. Lukas Barthelmes

Akademischer Mitarbeiter
Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, Gebäude 10.30, 76131 Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: lukas.barthelmes@kit.edu

M.Sc. Emre Görgülü

Akademischer Mitarbeiter
Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, Gebäude 10.30, 76131 Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: emre.goerguelue@kit.edu

M.Sc. Jelle Kübler

Akademischer Mitarbeiter
Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, Gebäude 10.30, 76131 Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: jelle.kuebler@kit.edu

PD Dr.-Ing. Martin Kagerbauer

Senior Researcher
Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, Gebäude 10.30, 76131 Karlsruhe, Deutschland

E-Mail: martin.kagerbauer@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Leiter des Instituts für Verkehrswesen

Über die DVWG

Die Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V. (DVWG) ist eine unabhängige und föderal strukturierte, gemeinnützige Vereinigung von Verkehrsfachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung. Seit über 100 Jahren verfolgt die DVWG das Ziel, aktuelle und perspektivische Fragestellungen im Verkehr aufzugreifen, zu diskutieren und zu publizieren. Dabei befasst sie sich als neutrale Plattform Verkehrsträger übergreifend mit allen Belangen des Verkehrs und orientiert sich an einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung.

Die DVWG wirkt im besonderen Maße für die Förderung des Nachwuchses über das Junge Forum und verleiht verkehrswissenschaftliche Nachwuchspreise. Auf europäischer Ebene widmet sie sich der Zusammenführung von Verkehrsfachleuten aus allen europäischen Staaten unter dem Dach einer Europäischen Plattform der Verkehrswissenschaften (EPTS).

Mitglieder der DVWG sind Studierende und junge Akademiker, Berufstätige und Senioren, aber auch Ingenieurbüros, Verkehrsverbände, Klein- und Mittelstandsunternehmen der Transport- und Verkehrswirtschaft, Kommunen sowie Verwaltungs-, Bildungs- und Forschungseinrichtungen. Den Mitgliedern der DVWG bieten sich hervorragende Möglichkeiten für einen fachspezifischen Informations- und Wissensgewinn, für berufliche Qualifizierung und Weiterbildung und nicht zuletzt auch für den Auf- und Ausbau von Karriere-, Berufs- und Partnernetzwerken.

Impressum

Herausgeberin:
Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V.
Hauptgeschäftsstelle
Weißburger Str. 16
13595 Berlin

Tel.: 030/ 293606-0
Fax : 030/ 293606-29
E-Mail: hgs@dvwg.de
Internet: www.dvwg.de

Präsident:
Prof. Dr. Jan Ninnemann

Vereinsregister Amtsgericht Berlin-Charlottenburg VR 23784 B
USt.-IdNr.: DE 227525122

Kontakt Redaktion:
E-Mail: journal@dvwg.de