Sachbericht

Anlage 1
(zu Nr. 4.5 NKBF2017)
(zu Nr. 4.4 NABF2017)

Zuwendungsempfänger:	**Förderkennzeichen:**
ATI Küste GmbH – Gesellschaft für Technologie und Innovation Schonenfahrerstraße 5 18057 Rostock	03RU1U011E

Vorhabenbezeichnung:

RUBIN – E2MUT - Emissionsfreie Elektromobilität für maritime urbane Transporte
VP1: Mobilität und Infrastruktur
TP1.1: Konzeption der E2MUT-Verkehrslösungen für multimodale urbane Transportketten und Spezifikation ihrer landseitigen Verkehrsinfrastruktur

Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 - 31.08.2024

Berichtszeitraum: 01.09.2021 - 31.08.2024

Teil I: Kurzbericht

Zur Umsetzung des Leitgedankens des E2MUT-Verbundprojekts, einen emissionsfreien maritimen Lösungsansatz für den stetig präsenter werdenden Verkehrskollaps in unseren Metropolen und Ballungszentren zu entwickeln, sollten im Verbundprojekt 1 „Mobilität und Infrastruktur“ die Projektidee zunächst systematisch untersetzt und mögliche Lösungsansätze interdisziplinär evaluiert werden. Dabei sollten aus dem skizzierten E2MUT-Leitgedanken konkrete, zukunftsträchtige Entwicklungsansätze generiert und tragfähige Applikationsfelder definiert werden. Im Fokus standen sowohl die Spezifikation der Entwicklungsansätze als auch innovative, technische Lösungen für eine optimale Ressourceninanspruchnahme sowie für eine Effizienzsteigerung der vorhandenen Infrastruktur. Diese Lösungsansätze sollten vor allem die sich wandelnden individuellen Mobilitätsansprüche reflektieren sowie die komplexen Anforderungen moderner Transport- und Versorgungsketten abbilden. Neben der Praktikabilität sollten auch die wirtschaftlichen Konsequenzen und die Emissionsreduzierung aufgezeigt

werden, um eine hohe Lebensqualität der urbanen Siedlungsräume zu gewährleisten sowie die Beeinträchtigung der natürlichen ufernahen Flora und Fauna nachhaltig zu minimieren.
Die zu Projektbeginn bestehenden Mankos, das einerseits die Verkehrssteuerung lediglich auf bereits bestehende Verkehrseinschränkungen bzw. Verkehrsüberlastungen der Verkehrsinfrastruktur reagiert und andererseits kein durchgängiges verkehrsträgerübergreifendes Verkehrsleitsystem existieren, wurden aus unserer Sicht bisher nicht grundlegend behoben.
Nach wie vor ist insbesondere der Umschlag von Containern in seiner Komplexität gut erforscht und wird teilweise auf Basis von Simulationstools gesteuert. Auch wurden uns während der Projektlaufzeit keine neuen simulationsbasierten Planungen von anderen Hafenbereichen oder Terminals des Kombinierten Ladungsverkehrs bekannt.
Basierend auf den Projektergebnissen unseres RUBIN-E2MUT TP 1.1 können hingegen verkehrsträgerübergreifend Überlastungen der etablierten Verkehrsinfrastruktur reduziert werden, wenn durch den Einsatz von E2MUT-Systemen küstennahe Wasserstraßenabschnitte und/oder die Binnenwasserstraßen stärker genutzt werden. Anhand unserer Projektergebnisse im Kompetenzfeld 1 „Integration als Verkehrsträger“ können passgenaue Funktionsbereiche erforderlicher Hafeninfrastruktur konzipiert und spezifiziert werden, um mit E2MUT-Systemen zielführend auf ein verändertes Verkehrsaufkommen zu reagieren, um beispielsweise die Inanspruchnahme überlasteter Wegstrecken reduzieren zu können.
Die entwickelten Layout-Planungsmodule ermöglichen eine effiziente Spezifikation und Dimensionierung der erforderlichen Funktionselemente des E2MUT-Terminals, die auf eine Optimierung der Lade-/Lösch-Prozesse sowie auf eine hochgradige Auslastung der (ggf. vorhandenen) landseitigen Infrastruktur fokussiert sind.
Im Kompetenzfeld 2 „Verkehrsplanung“ wurde aufgezeigt, wie mit dem simulationsgestützten System für eine optimierte raumplanerische Verortung neuer Routen des E2MUT-Systems Transportalternativen generiert werden können, die durch ihre Wirtschaftlichkeit und Attraktivität die vorhandene Verkehrsinfrastruktur nachhaltig entlasten und auch temporär zur Entflechtung angespannter Verkehrssituationen beitragen würden.
Eine prozessoptimierende simulationsbasierte Verkehrssteuerung in der unmittelbaren Zuwegung und innerhalb des Terminals war Entwicklungsgegenstand des Kompetenzfelds 4 „Terminalsysteme“. Als Projektergebnis wurde ein operatives Verkehrsleitsystem entwickelt, mit dem die Schiffsliegezeiten durch eine optimale, Stellplatz bezogene, Verkehrslenkung im Hafenbereich reduziert werden können. Neben einer signifikanten Verbesserung der Fahrplantreue konnte auch eine mögliche Reduzierung der Schiffsliegezeiten nachgewiesen werden.
Bei einer Inanspruchnahme der Projektergebnisse im Kurzstrecken-Fährverkehr auf der Strecke Rostock ⇔ Gedser ergibt sich bei dem gegenwärtigen Verkehrsaufkommen ein Einsparungspotenzial für die momentan eingesetzten Fähren von bis zu 800 kg Treibstoff pro Überfahrt.

Insbesondere durch die seitens des Projektpartners IGP entwickelte Verknüpfung der definierten Simulationstools /-module mit GIS-Daten von Hafenterminals eröffnet sich die Möglichkeit E2MUT-Systeme und/oder die konzipierten Planungs- und Steuerungstools vielschichtig und im Interesse einer Entlastung kollabierender Verkehrswegenetze einzubinden. Darüber hinaus ermöglichen die prozessoptimierenden simulationsbasierten Projektergebnisse, verschiedenste „Was wäre, wenn"-Szenarien zu evaluieren. Auch können auf Basis der Projektergebnisse verschiedene Routen unter Berücksichtigung realer Schienen- und Straßendaten untersucht werden und durch die entwickelten Bewertungssysteme deren wirtschaftliche Effizienz, anhand der Kostentransparenz für die Inanspruchnahme der erforderlichen terminalseitigen Ressourcen, aufgezeigt werden. Im Fazit ermöglichen es unsere Projektergebnisse einerseits die Markteintrittsbarrieren für ein E2MUT-System sowohl in der Konzept- als auch in der Realisierungsphase zu minimieren. Andererseits können auf der Basis der entwickelten Tools auch für zusätzliche Logistik-, Service- und Dienstleistungsprozesse (die im Status quo nicht mit den Lade-/Lösch-Prozessen von maritimen Transportsystemen gekoppelt sind) Funktionsnachweise erbracht und deren Wirtschaftlichkeit evaluiert werden.

Teil II: Eingehende Darstellung

Entsprechend der in der Vorhabenbeschreibung dargelegten Vorgehensweise liegen die folgenden wesentlichen Ergebnisse vor:

Kompetenzfeld 1 – Integration als Verkehrsträger

RUBIN-E2MUT.VP1.K1.P1-4.ATI.1 – Entwicklung der Einsatzkonzepte und Spezifikation des E2MUT-Systems für urbane multimodale Transportketten

Basierend auf einer Fokussierung auf die konkreten Problemstellungen und strategischen Ausrichtungen etablierter Hafenunternehmen wurden die konzipierten Projektziele nochmals kritisch hinterfragt und die Systemgrenzen mit den Projektpartnern definiert.

Bei der Prozessanalyse wurden insb. die Verkehrsspitzen der Ferien(beginn)- und Feiertagsverkehre analysiert. Dabei wurde insbesondere auf die Pkw-Verkehrsspitzen und Abfahrten mit einem hohen Anteil an (Landgangs-)Passagieren fokussiert. Neben der Echtzeit-Analyse auf den Fähr-Terminals wurden verschiedene Methoden zur Videoauswertung konzipiert und nach deren Evaluierung umgesetzt.

In der Analysephase im Kontext des Kompetenzfeldes 1 „Integration als Verkehrsträger" standen einerseits die einzubindenden Verkehrsgruppen und deren Anforderungen / Mobilitätsansprüche an eine landseitige Infra- und Suprastruktur im Fokus der Vorort-Untersuchungen. Im Ergebnis dieser Analysen wurden sowohl von den Lade- und Löschprozessen im Terminal als auch von den schiffseitigen Abläufen Prozessdiagramme der Material- und Informationsflüsse erstellt (Beispiel siehe Abbildung **1**) und mögliche Störungen der Prozessabläufe erfasst.

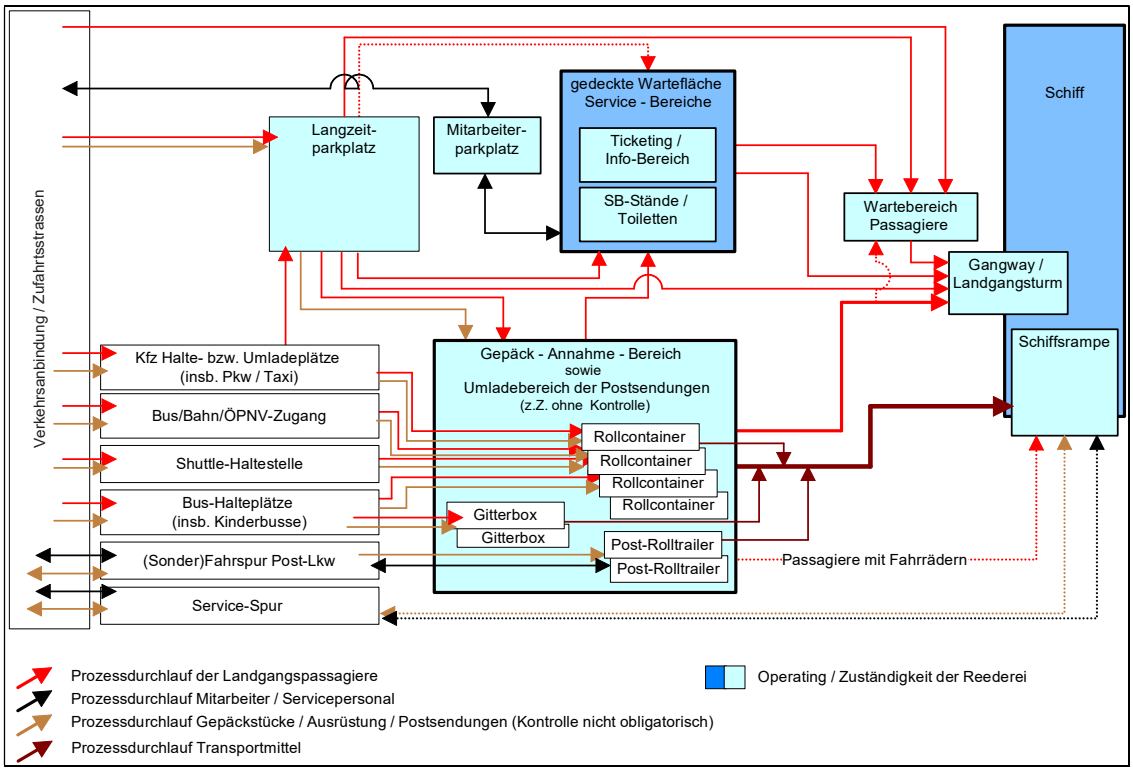


Abbildung 1: Prozessabläufe und involvierte Hauptfunktionselemente der Schiffsbeladung im Szenario „Landgangspassagiere und KEP-Dienste“

In Hinblick auf die Simulation der terminalseitigen Prozessabläufe für die unterschiedlichen Einsatzszenarien des E2MUT-Systems wurden mit dem Projektpartner Fraunhofer IGP die Prozessstrukturen sowie die relevanten Objektparameter definiert und verifiziert.

Darüber hinaus wurde eine vergleichende Bewertung verschiedener Technologien zur Aufnahme der verschiedenen zu transportierenden Ladungseinheiten bzw. Gepäckstücke sowohl in Hinblick auf ihre technischen Parameter als auch in Hinblick auf ihre logistische Einbindung in maritime Transportketten (mit Fokus auf autofreie Inselverkehre) analysiert und deren technische Entwicklungserfordernisse im Interesse einer Effizienzsteigerung mit verschiedenen Hafendienstleistern diskutiert (Beispiel siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich (Auszug) der Gepäckabfertigungslösungen im Verkehr mit autofreien Inseln (Festlandhäfen)

Parameter	Dim.		
		Neßmersiel	**Bensersiel**
Gepäckabfertigung im Gebäude		nein	ja
Gepäckannahme nordgehend	-	individuell	am Schalter
Gepäckausgabe südgehend	-	individuell	individuell
mittl. Entfernung Umladeplatz Pkw-Gepäckcontainer	[m]	20…100	20…30
Anzahl Umladeplätze Pkw	-	40	ca. 50
Verkehrsführung Pkw	-	zwangsgeführt (Einbahnstraßen)	frei
definierte Parkzeit	[min]	20	nur Ein-/Ausladen
mittl. Entfernung Umladeplatz Busse-Gepäckcontainer	[m]	20…50	100
Anzahl Umladeplätze Busse	-	5	12
Verkehrsführung Busse	-	zwangsgeführt	zwangsgeführt
mittl. Entfernung Übergabeplätze Pkw-Gepäckcontainer	[m]	zum Pkw-Übergabeplatz 100	200
Anzahl Pkw- Übergabeplätze	-	250	-
Stellplatzzahl Langzeitparkplätze	-	600	1.600
Anzahl großer Langzeitparkplätze		1	3
mittl. Entfernung Pkw-Langzeitparkplatz - Gepäckcontainer	[m]	1.500	300
Kapazität der signifikanten Schiffe (max.)	[Pers.]	1.000	1.650
Anzahl Abfahrten		2…3	7…8
Anzahl Passagiere (inkl. Tagestouristen (2005/2011)	[1.000 Pers/a]	225	825
Fahrzeugabgabe an Dritte	[d^{-1}]	zwangsweise, wegen Lage Langzeitparkplatz	keine
Bettenkapazität	[-]	3.000	10.200
Anzahl Übernachtungen	[1.000 Übern./a]	440	1.600
(funktioneller) Gesamteindruck	-	gut	gut
Pass. pro Umladeplatz	[Pass./Stellpl.]	25	33
Pass. pro Summe Umlade- und Übergabeplatz	[Pass./Stellpl.]	3,4	33
Betten pro Langzeitstellplatz	[Betten/Parkpl.]	5,0	6,4

Die Analyse-Ergebnisse wurden sowohl mit den Partnern des Verbundprojektes 1 als auch dem gesamten E2MUT-Konsortium vorgestellt und die identifizierten (Einsatz-)Szenarien nochmals verifiziert sowie deren Eignung / Anwendbarkeit evaluiert. In Abbildung 2 sind die sechs E2MUT-Szenarien zusammenfassend skizziert.

Für diese (Einsatz-)Szenarien wurden, auf der Basis der Verkehrsanalysen für konkrete Beladungsfälle, Schwachstellenanalysen durchgeführt (siehe exemplarisch Abbildung 3).

Des Weiteren wurden die Netzwerkstrukturen der einzelnen Szenarien analysiert und anhand definierter Bewertungskriterien / -parameter in einer gewichteten Bewertungsmatrix charakterisiert (siehe Tabelle 2).

Außerdem wurden entsprechende technische Grobkonzeptionen für die Hauptfunktionsbereiche entwickelt (siehe exemplarisch Abbildung 4) sowie die Entwicklungsbedarfe aufgezeigt.

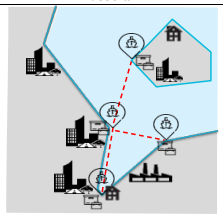
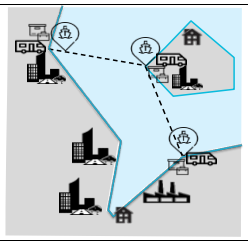
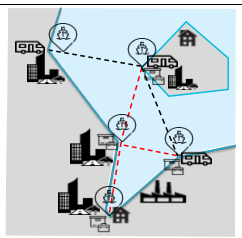
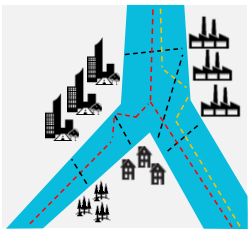
E2MUT-Szenarien	Szenario 1 "Personen-Verkehr / Bäderschifffahrt"	Szenario 2 "Personen-Verkehr u. KEP-Dienste / Postschifffahrt"	Szenario 3 "Express-Fährverkehr Personen und KEP / Wassertaxi"
Prinzipskizze			
Alleinstellungsmerkmal / zu transportierende Güter- u./o. Personengruppen	Verbindung bzw. Passage von Hafenstandorten und (ggf.) touristischer Ziele / Passagiere (inkl. Handgepäck, [E]Fahrrad, [E]Hilfsmittel)	Verbindung von Hafenstandorten / Passagiere und KEP-Transporthilfsmittel (z.B. (Roll)Container, Boxen, etc.)	Schnell-Verbindung von Hafenstandorten / Passagiere und KEP-Transporthilfsmittel (z.B. (Roll)Container, Boxen, Tanks, etc.)
E2MUT-Szenarien	**Szenario 4 "Fracht-Verkehr / Ver- und Entsorgung"**	**Szenario 5 "Kombi-Verkehr Küste"**	**Szenario 6 "Kombi-Verkehr Binnen"**
Prinzipskizze			
Alleinstellungsmerkmal / zu transportierende Güter- u./o. Personengruppen	Fracht-Verbindung von Hafenstandorten / Ver- und Entsorgungsgüter mittels Transport- u. - hilfsmittel (z.B. Lkw, Trailer, (Tank)Container, Boxen, etc.)	Kombi-Verbindung von Hafenstandorten / Passagiere, KEP sowie Ver- und Entsorgungsgüter (mittels Transport- u. -hilfsmittel)	Kombi-Verbindung von Standorten mit Schifffahrtsanschluss / Passagiere, KEP sowie Ver- und Entsorgungsgüter (mittels Transport- u./o. -hilfsmittel)

Abbildung 2: Übersicht der konzipierten Einsatz-Szenarien für ein E2MUT-System

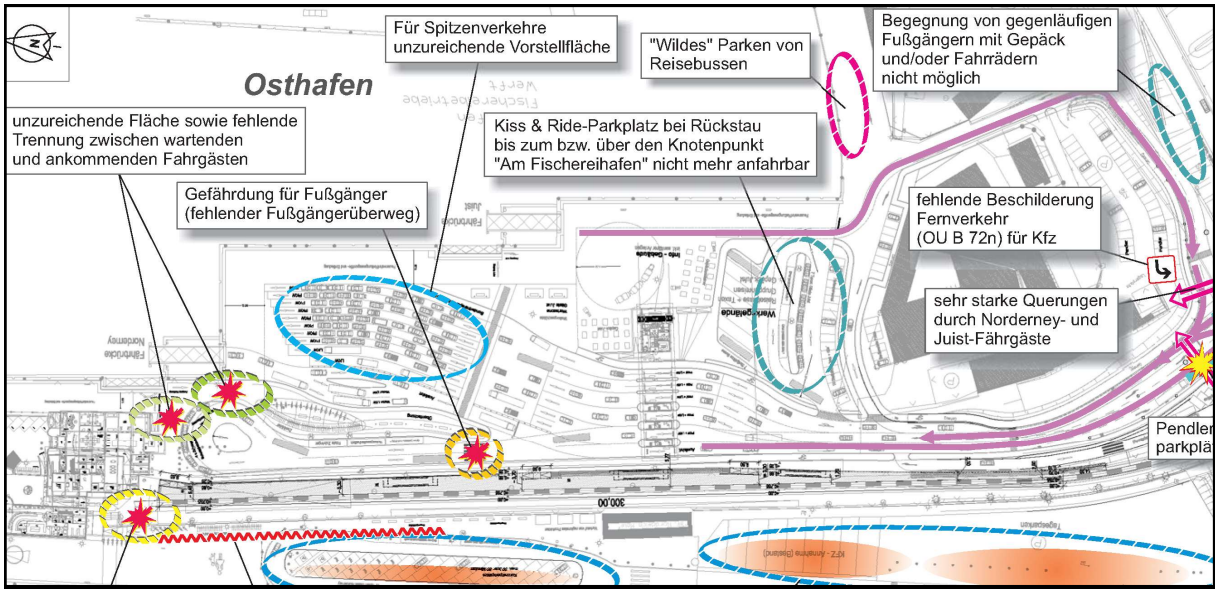


Abbildung 3: Schwachstellenanalyse Szenario 5 „Kombi-Verkehre“

Tabelle 2: Auflistung der Bewertungskriterien zur Eignung und Charakterisierung von Netzwerkstrukturen der Einsatz-Szenarien für ein E2MUT-System

Bewertungskriterien/ Parameter	Wichtungs-faktor (1-5)
Übersichtlichkeit / einfache funktionale Gliederung	2
Sicherheit und Leichtigkeit (der landseitigen Wege- / Verkehrsführung)	3
Trennung zw. Tourismus / Passagierbereich und Frachtabfertigung	5
zusammenhängende Warte- und Vorstaubereiche für Passagier- und Ausflugsverkehre	3
zusammenhängende Wartebereiche für Passagierverkehre und Wattwanderer	3
Einordnungsmöglichkeit von Werksverkehren (insb. nicht für den öffentl. Straßenverkehr zugelassene Fzg. / Trailer)	4
Einordnungsmöglichkeit von Sonderaufgaben parallel zum Lieniendienst (Baustellenversorgung -nicht NLWKN-)	3
Flexibilität des RoRo-Anlegers für vertikalen Umschlag	3
Flexibilität des RoRo-Anlegers in punkto Schiffsgrößen-Entwicklung sowie Diskriminierungsfreiheit	4
Reaktionsfähigkeit auf Schiffsgrößenentwicklung / -typenänderung im Segment Bereisungsschiff	4

Bewertungskriterien/ Parameter	Wichtungs-faktor (1-5)
Einordnungsmöglichkeit erforderlicher Regelschiffe	5
Einordnungsmöglichkeit von Reserve- / Überliegeplätzen	1
Umwidmung vorhandener Terminalfläche in Verkehrsfläche für Frachtumschlag	3
Reduzierung des Hafenaquatoriums / Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten	3
Verlust von Schwimmsteg-Liegeplätzen	4
Schutzwirkungsgrad der LPs für DGzRS & Schnellfähre bezüglich hydrometerologischen Bedingungen	3
Schicherheit und Leichtigkeit beim Manövrieren (verfügbare Manöverfreiräume)	4
Eingriff in Küstenschutzbauwerk	3
erforderlicher Rückbau geförderter / nicht abgeschriebener Infrastruktur	4
Komplexität und Lösbarkeit der Raumwiderstände	5
Akzenpanz der Infrastrukturentwicklung (Synergieeffekte, Attraktivität, ggf. Verbesserung der Wertschöpfung am Standort)	3
Einpassung in naturrechtliche Gegebenheiten	5

Nach abgeschlossener Analyse für die Einsatz-Szenarien erfolgte in der Phase der Konzeptentwicklung für die unterschiedlichen Transportketten die Erstellung der erforderlichen terminalseitigen Infrastruktur – Netzwerke. Im Fokus stand hierbei die Strukturkonzeption für die erforderlichen Funktionsbereiche der Hafeninfrastruktur und deren Wechselbeziehungen bzw. Abhängigkeiten untereinander. In Abstimmung mit den Projektpartner wurde innerhalb der Bearbeitungszeit auf der Basis des Einsatz-Szenarios 5 „Kombi-Verkehre“ ein speziell auf die Erfordernisse der Offshore – Industrie abgestimmtes Einsatz-Szenario konzipiert. Für dieses Einsatz-Szenario wird beispielhaft in Abbildung 4 das konzipierte Strukturkonzept des erforderlichen Hafeninfrastruktur-Netzwerkes für ein E2MUT – Offshore Terminal aufgezeigt.

Basierend auf den entwickelten Strukturkonzepten wurden die erforderlichen Funktionsbereiche der Hafeninfrastruktur und deren technische Parameter für die unterschiedlichen E2MUT-Szenarien spezifiziert. In Abbildung 5 sind exemplarisch die spezifizierten Funktionsbereiche für ein E2MUT Offshore-Terminal skizziert.

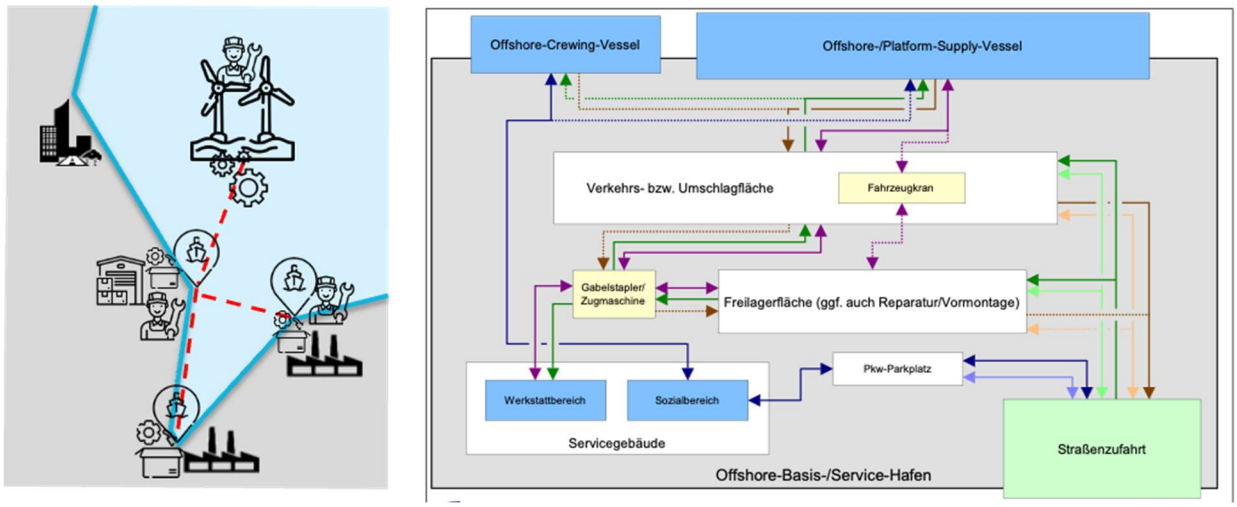


Abbildung 4: Strukturkonzept der erforderlichen Hafeninfrastruktur für ein „E2MUT-Offshore Terminal“

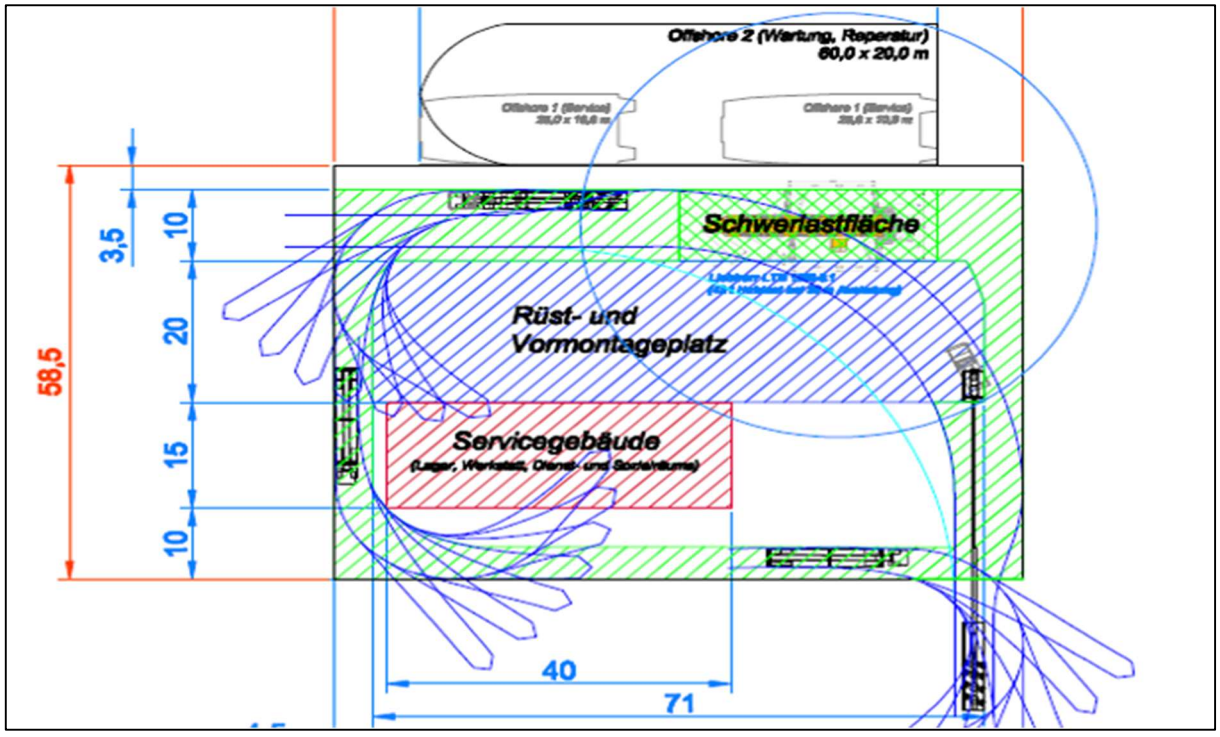
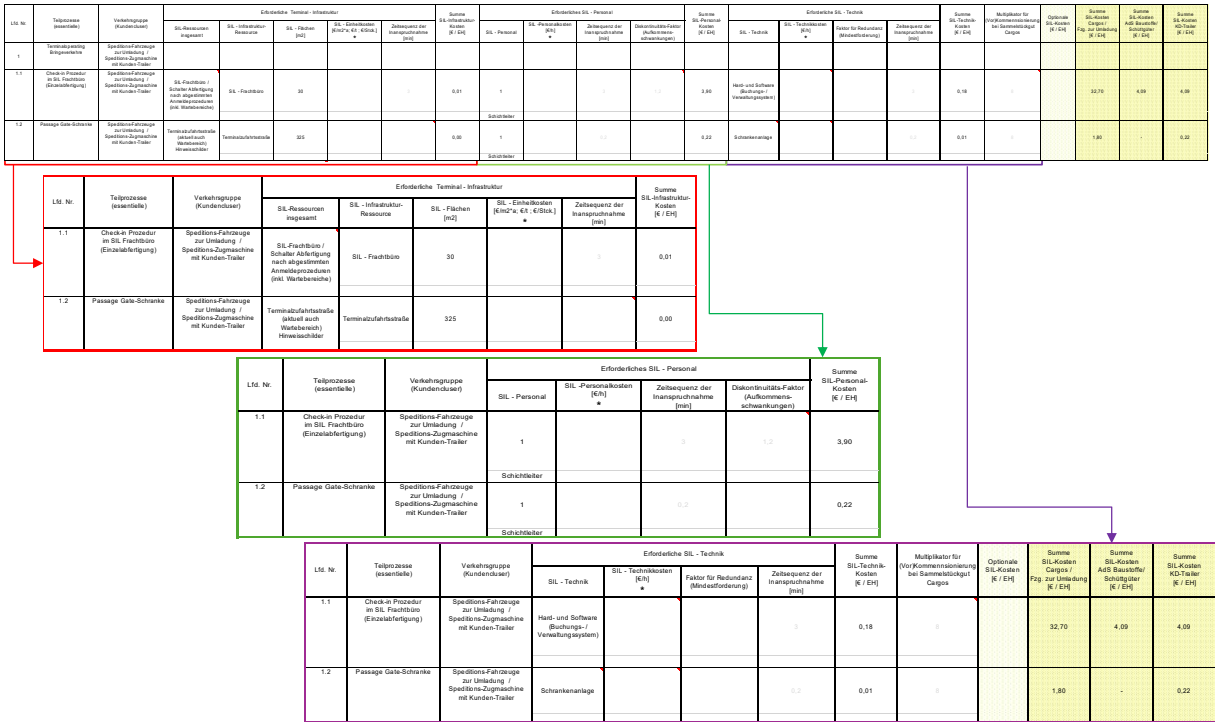


Abbildung 5: Spezifiziertes Ideal-Layout mit den erforderlichen Hafeninfrastrukturelementen für ein „E2MUT-Offshore Terminal“

Basierend auf den spezifizierten Ideal-Layouts erfolgte im weiteren Projektverlauf die analytische Berechnung verschiedenster Zeitsequenzen für die konzipierten E2MUT-Lösungsansätze als Basis für die Ermittlung der Terminal-Durchsätze für die unterschiedlichen Personen- und Warenströme abgestimmter Beladungsfälle. Zur Verifizierung dieser analytisch ermittelten Zeitsequenzen wurde nochmals eine Zeiterfassung in repräsentativen Terminals durchgeführt. Darüber hinaus wurden Konzepte für die operationelle Einflussnahme zur Erhöhung der Zuverlässigkeit bzw. zur Kompensation von Störungen in den Lade-/Lösch-Prozessen entwickelt. Entsprechend des konzipierten Arbeitsplanes für das Kompetenzfeld 1 wurden

zur Evaluation und Integration der Ergebnisse Bewertungsmatrizen für die Kostenbetrachtungen entwickelt. Neben der Fokussierung auf die spezifizierten Funktionsbereiche der Hafeninfrastruktur (in Abb. 6 roter Rahmen) und den Einsatz der Hafensuprastruktur (in Abb. 6 violetter Rahmen) wurde auch die Inanspruchnahme der unterschiedlichen Mitarbeiter des Hafenumschlags (in Abb. 6 grüner Rahmen) berücksichtigt. In Abbildung 6 ist die strukturelle Gliederung der analysierten Kostenelemente beispielhaft für zwei Teilprozesse aufgezeigt.

Tabelle 3: Strukturelle Gliederung der analysierten Kostenelemente für die einzelnen Teilprozesse



Lfd. Nr.	Teilprozesse (essentielle)	Verkehrsgruppe (Kundencluser)	Erforderliche Terminal - Infrastruktur: SIL-Ressourcen insgesamt	SIL - Infrastruktur-Ressource	SIL - Flächen [m2]	SIL - Einheitkosten [€/m2*a; €/t ; €/Stck.] *	Zeitsequenz der Inanspruchnahme [min]	Summe SIL-Infrastruktur-Kosten [€ / EH]
1.1	Check-in Prozedur im SIL Frachtbüro (Einzelabfertigung)	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	SIL-Frachtbüro / Schalter-Abfertigung nach abgestimmten Anmeldeprozeduren (inkl. Wartebereiche)	SIL - Frachtbüro	30		3	0,01
1.2	Passage Gate-Schranke	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	Terminalzufahrtsstraße (aktuell auch Wartebereich) Hinweisschilder	Terminalzufahrtsstraße	325			0,00

Lfd. Nr.	Teilprozesse (essentielle)	Verkehrsgruppe (Kundencluser)	Erforderliches SIL - Personal: SIL - Personal	SIL -Personalkosten [€/h] *	Zeitsequenz der Inanspruchnahme [min]	Diskontinuitäts-Faktor (Aufkommens-schwankungen)	Summe SIL-Personal-Kosten [€ / EH]
1.1	Check-in Prozedur im SIL Frachtbüro (Einzelabfertigung)	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	1 Schichtleiter		3	1,2	3,90
1.2	Passage Gate-Schranke	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	1 Schichtleiter		0,2		0,22

Lfd. Nr.	Teilprozesse (essentielle)	Verkehrsgruppe (Kundencluser)	Erforderliche SIL - Technik: SIL - Technik	SIL - Technikkosten [€/h] *	Faktor für Redundanz (Mindestforderung)	Zeitsequenz der Inanspruchnahme [min]	Summe SIL-Technik-Kosten [€ / EH]	Multiplikator für (Vor)Kommennissionierung bei Sammelstückgut Cargos	Optionale SIL-Kosten [€ / EH]	Summe SIL-Kosten Cargos / Fzg. zur Umladung [€ / EH]	Summe SIL-Kosten AdS Baustoffe/ Schüttgüter [€ / EH]	Summe SIL-Kosten KD-Trailer [€ / EH]
1.1	Check-in Prozedur im SIL Frachtbüro (Einzelabfertigung)	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	Hard- und Software (Buchungs-/ Verwaltungssystem)			3	0,18	9		32,70	4,09	4,09
1.2	Passage Gate-Schranke	Speditions-Fahrzeuge zur Umladung / Speditions-Zugmaschine mit Kunden-Trailer	Schrankenanlage			0,2	0,01	9		1,80	-	0,22

Kompetenzfeld 2 – Verkehrsplanung

RUBIN-E2MUT.VP1.K2.P1-4.ATI.1 – Logistische Einbindung und intermodale Verkehrsplanung des E2MUT-Systems für urbane multimodale Transportketten

Die Analysephase im Kontext des Kompetenzfeldes 2 „Verkehrsplanung“ war eng verwoben mit der Identifikation und Evaluation der favorisierten sechs Einsatz-Szenarien eines E2MUT-Systems (siehe Abbildung 2), zu denen mit Fokus auf die Verkehrsplanung dezidiert nach praktischen Einsatzbeispielen recherchiert wurde.

Der Betrachtungsraum, in dem bestehende Fährverbindungen analysiert wurden, erstreckt sich von Szczecin (PL) im Osten über Helsingborg (S) im Norden bis nach Cherbourg (FR) im Westen. Insgesamt wurden mehr als 50 Fährverbindungen betrachtet von denen:

- 15 Fährverbindungen Inselversorger mit oder ohne Wettbewerber;

- 22 Fährverbindungen mit regionaler Bedeutung mit mehr oder weniger ausgeprägter überregionaler Bedeutung;
- 14 internationale Fährverbindungen sind.

Die Seeentfernungen der betrachteten Fährlinien liegen zwischen 0,1 und 200 sm. In Tabelle 4 sind die betrachteten Fährverbindungen aufgeführt.

Tabelle 4: Analysierte Fährverbindungen im Kontext Kompetenzfeld 2 „Verkehrsplanung“

Kategorie	**Fährverbindung**
Fährverbindungen zur Inselversorgung	Neßmersiel-Baltrum Emden-Borkum Bensersiel-Langeoog Neuharlesiel-Spiekeroog Norddeich Norderney Norddeich-Juist Harlesiel-Wangerooge Glewitz-Stahlbrode Vitte-Schaprode Vitte-Stralsund Emden/Knock-Borkum Delfzijl - Borkum Emden-Borkum Eemshaven - Borkum Bremerhaven - Helgoland
Fährverbindungen mit weitgehend regionaler Bedeutung	Glückstadt –Wischhafen Langeland DK- Lolland DK Lübeck Priwall Hohe Düne-Warnemünde Wittower Fähre Swinoujscie Millingen aan de Rijn – Pannerden Millingerwaard – Doornenburg Dijk - Dorpsstraat Druten-Dodewaard Tiel-Wamel Varik-Heerewaarden Brakel-Herwijnen Lovestein (Poederoijen) - Woudrichem Groinchem - Woudrichem Groinchem - Lavestein Groinchem - Sleeuwijk Kop van't Land - Werkendam Ditzum - Petkum Delfzijl – Emden Bremerhaven - Nordenham (Blexen) Brake-Sandstedt
internationale Fährverbindungen mit weitgehend überregionaler Bedeutung	Helsingborg-Helsingoer Puttgarden-Rödby Rotterdam-Hull Zeebrügge - Hull Calais - Dover Calais - Dover Calais – Dover Dünkirchen - Dover Dieppe-Newhaven Le-Havre - Porthsmouth Caen - Portsmouth Cherbourg - Poole Roscoff - Plymouth

Im Ergebnis dieser Recherche wurden auch die (bereits in Tabelle 2 aufgeführten) Bewertungskriterien / -parameter für eine gewichtete Bewertungsmatrix nochmals verifiziert.

Für das Einsatz – Szenario Nr. 6 „Kombi-Verkehr Binnen“ wurde beispielhaft für ein zu etablierendes E2MUT-System eine neue, alternative Fährverbindung zwischen den Elbhäfen Cuxhaven ⇔ Brunsbüttel (siehe Abbildung 6) im Wettbewerb sowohl zur bestehenden Elbquerung Glückstadt ⇔ Wischhafen als auch zu den möglichen Verkehrstrassen via BAB (siehe Abbildung 7) konzipiert.

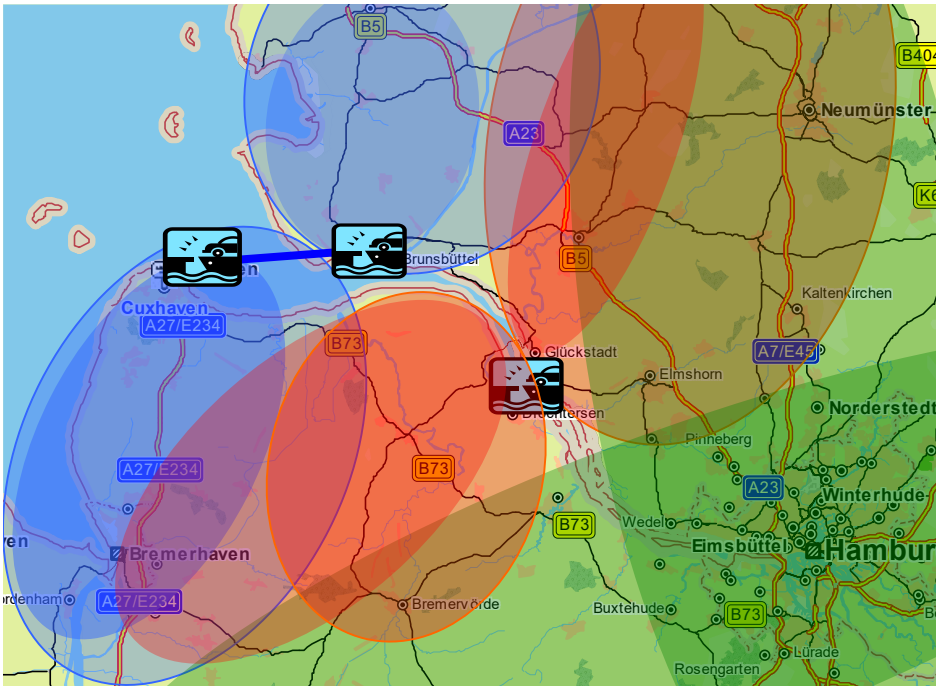


Abbildung 6: Alternative Fährverbindung Cuxhaven ⇔ Brunsbüttel mit den Einzugsbereichen der Elbequerungen im Weser-Elbe-Dreieck (blau – Einzugsbereich Cuxhaven – Brunsbüttel, rot – Glückstadt – Wischhafen, grün – via BAB)

Abbildung 7: Alternative Routenführung zur E2MUT-Fährverbindung Cuxhaven ⇔ Brunsbüttel

Basierend auf der in Tabelle 5 zusammengefassten Potenzialschätzung für die E2MUT-Fährverbindung Cuxhaven⇔ Brunsbüttel konnten in enger Zusammenarbeit mit dem Ing.-Team des Fraunhofer IGP die entwickelten Netzwerkstrukturen (siehe Abbildung 8) in das Simulations-Tool überführt werden. Die Prozeduren der Routenwahl bzw. der Entscheidung zwischen Transportalternativen wurden ebenfalls in das Simulations-Tool überführt und konnten erfolgreich evaluiert werden.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Potenzialschätzung Fährverbindung Cuxhaven ⇔ Brunsbüttel

	2014	2025	Mittl. jährl. Wachstum	2025/2014
Pkw [Einheiten]	**265.217**	**302.638**	**1,21%**	**114%**
darunter: induzierter Verkehr	12.038	13.736		114%
Lkw [Einheiten]	**48.199**	**53.466**	**0,95%**	**111%**
darunter:				
Mineralölerzeugnisse, Chemische Erzeugnisse	4.334	4.993	1,30%	115%
Container	390	824	7,03%	211%
Personen insgesamt	**625.200**	**670.850**	**1,02%**	**107%**
dar.: MIV-Reisende nach Verflechtung	436.401	471.484	0,71%	108%
Tourismus	140.600	145.900	0,37%	104%
dar.: Fahrräder	28.100	33.600	1,91%	120%
Bus	14.100	14.600	0,37%	104%

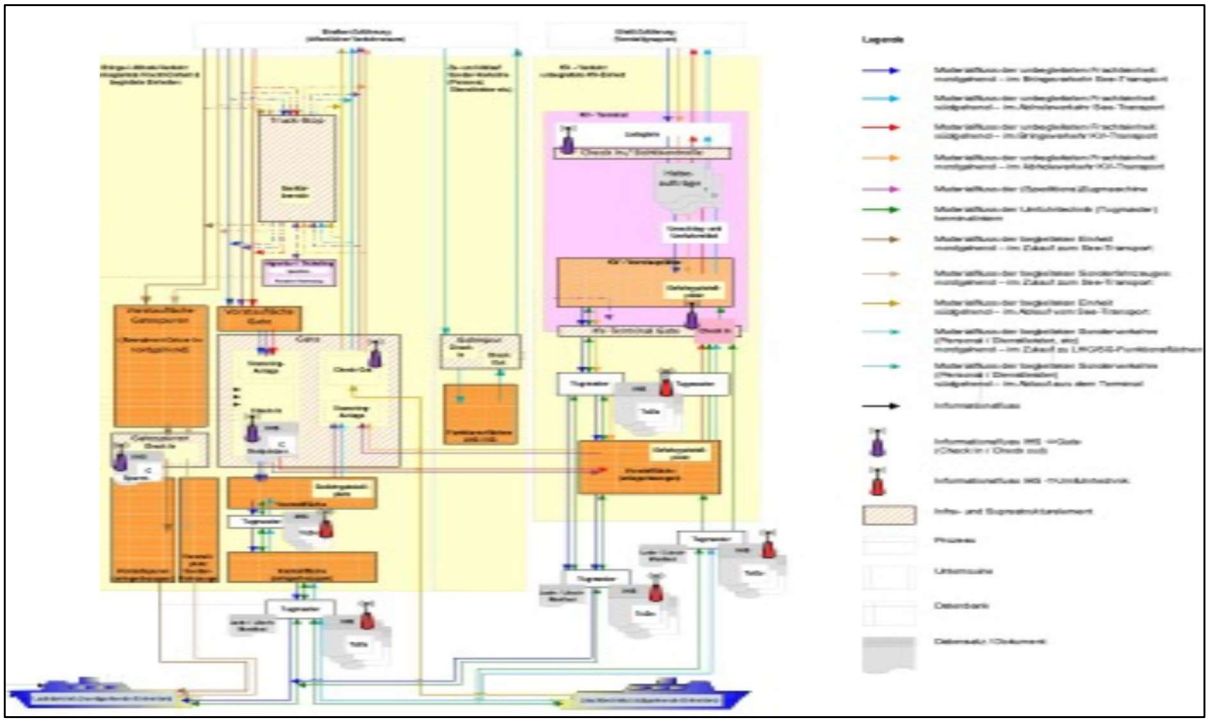


Abbildung 8: Strukturbild der (Basis)Netzwerkstruktur für die landseitigen Prozessabläufe des Lade- / Löschvorgangs zur E2MUT-Fährverbindung Cuxhaven ⇔ Brunsbüttel

Kompetenzfeld 4 – Terminalsysteme

RUBIN-E2MUT.VP1.K4.P1-4.ATI.1 – Entwicklung und Optimierung der Terminallayouts des E2MUT-Systems und deren nachhaltige Integration in vorhandene Infrastruktur

Aufsetzend auf die Ergebnisse der Prozessanalysen im Rahmen der Projektarbeit zum Kompetenzfeld 1 „Integration als Verkehrsträger“ erfolgte zunächst eine umfängliche Auswertung verfügbarer Prozessdaten aus dem Betrieb des hochfrequentierten Terminals des Kurzstrecken-Fährverkehrs Rostock ⇔ Gedser. Neben dem Durchsatz, den Lade- und Löschzeiten sowie deren theoretischen Grenzwerten stand auch die Clusteranalyse der Buchungszeiten im Fokus der Realdaten-Auswertung. Darüber hinaus wurden die Häufigkeitsverteilungen der unterschiedlichen Varianten im Ladungsmix sowie die signifikanten Einflussgrößen bzw. Rahmenbedingungen für den jeweiligen Ladungsmix, als entscheidende Eingangsparameter für eine Prozesssimulation, dezidiert untersucht.

Basierend auf den ermittelten Jahres-, Wochen- und Tagesganglinien wurden, gestützt auf die in der Analyse aufgezeigten Zusammenhänge zwischen kalkulatorischer Kapazitätsauslastung und dem Verhältnis zwischen Pkw und Lkw (als für die Terminal-Auslastung maßgebliche Fahrzeuggruppen), zunächst neun Szenarien für die Schiffsbeladung gebildet. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde zusätzlich ein Bus-Szenario wegen der besonderen Anforderungen an die Stauung nach Fahrzeuggruppen definiert (siehe Abbildung 9).

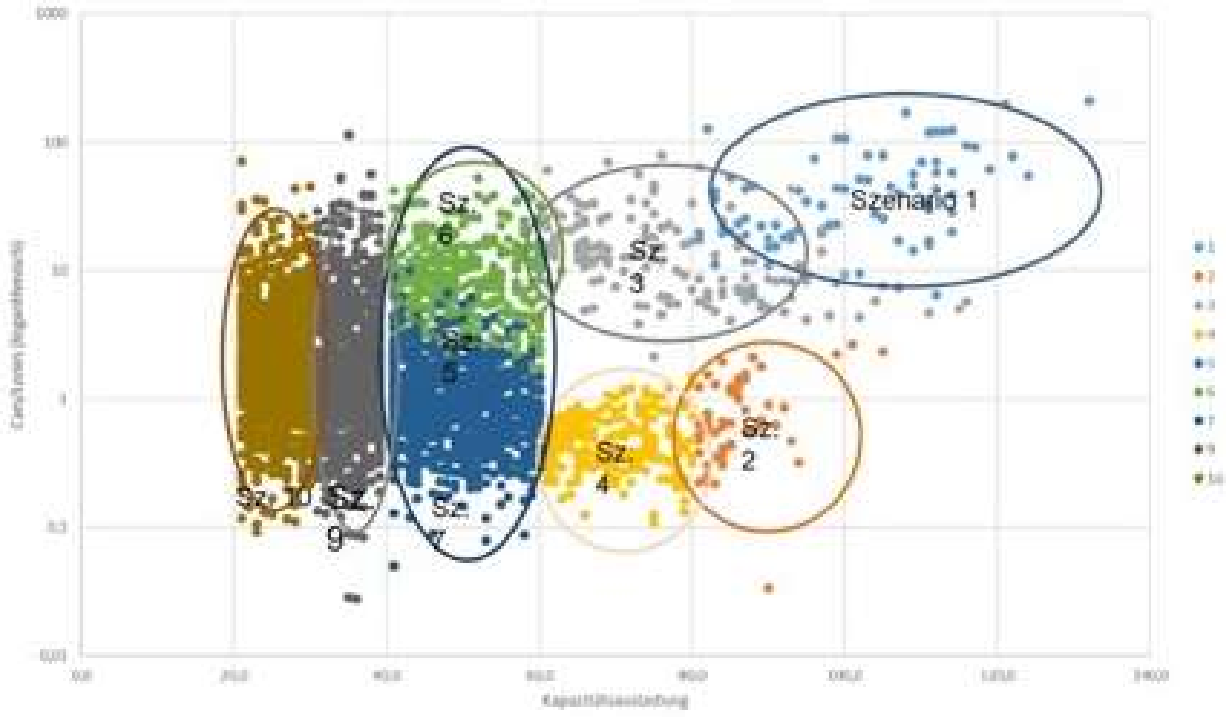


Abbildung 9: Definition der 10 Standard-Beladeszenarien im Ergebnis der Cluster-Analyse im Koordinatensystem „Cars/Lorries“ zur Kapazitätsauslastung

Zu jedem der zehn Beladeszenarien wurden die ergänzenden Strukturdaten für die weiteren Fahrzeuggruppen sowie für Fahrräder und Behindertenfahrzeuge aus den vorliegenden statistischen Daten abgeleitet bzw. nach ergänzenden Informationen vom Reeder definiert (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Datenbasis für die Ressourceninanspruchnahme der definierten Standard-Beladeszenarien

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Szenario	**sehr hohe Auslastung / >150 Pkw**	**sehr hohe Auslastung / >50 Lkw**	**hohe Auslastung / 100-200 Pkw**	**hohe Auslastung / Lkw-lastig**	**mittlere Auslastung / Mittel**	**mittlere Auslastung / Pkw-lastig**	**mittlere Auslastung / Lkw-lastig**	**geringe Auslastung**		**Busse / >8**
Auslastung	>80	>80	>60%	>60%	<=60; >40	<=60; >40	<=60; >40	30 bis 40	20 bis 30	>40
Fälle 2018	82	55	188	108	1.099	348	747	911	716	51
Laden										
Car	204	34	139	20	44	81	27	34	26	110
CarL/ M-home	60	13	42	6	11	18	8	8	5	20
Bus	4	3	4	2	3	4	2	3	2	11
Lorry	11	68	17	68	29	15	36	20	15	11
J-Rad	5	3	2	2	4	4	3	2	2	8
Eplug	2	3	2	3	2	2	2	2	2	1
Hazmat	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
handicap	2	0	2	0	1	2	0	1	0	2
Löschen										
Car	172	89	121	32	54	74	43	52	53	63
Lorry	13	40	16	26	28	35	35	20	21	7
Bus	3	1	3	0	2	3	2	2	2	4

Basierend auf der analysierten Verkehrsstatistik wurden in einem nächsten Schritt für die definierten Szenarien der Schiffsbeladung die korrespondierenden Löschzahlen der unterschiedlichen Fahrzeuggruppen abgeleitet. Um für die Prozesssimulation die umfänglichen Eingangsdaten / Datenbasis zu generieren, wurden die zehn definierten Szenarien in die zeitlichen Verläufe nach Tagesgang, Wochengang und saisonalem Verhalten eingeordnet. Auf Basis dieser Strukturdaten wurde der Simulationskern fortführend validiert.

Basierend auf den Prozessanalysen wurden in Abstimmung mit dem Projektpartner IGP die für die Prozesssimulation relevanten Fahrzeugklassen definiert und deren Parameter spezifiziert. Auszüge der, für die Prozesssimulation relevanten, Parameter im Kontext der Fahrzeuge bzw. Fahrzeugklassen sind in den Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 7: Definierte Fahrzeugklassen und deren Hauptabmessungen

Fahrzeugklasse	Länge [m]	Breite [m]
PKW	5	1.8
Wohnmobil	7.5	2.3
Omnibus	14	2.5
LKW / E-LKW / Gefahrgut-LKW	17	2.6
Motorräder	2	1.5
Handicap-Fahrzeuge	5	1.9
Fahrräder	1	0.8

Tabelle 8: Definierte Fahrzeugklassen und zugehörige Geschwindigkeiten

Fahrzeugklasse	Geschwindigkeit „Start“ [m/s]	Geschwindigkeit „Terminal“ [m/s]	Geschwindigkeit „Fähre“ [m/s]
PKW	10	6	4
Wohnmobil	10	6	4
Omnibus	10	6	4
LKW / E-LKW / Gefahrgut-LKW	8	6	4
Motorräder	8	6	4
Handicap-Fahrzeuge	10	6	4
Fahrräder	4	4	4

Tabelle 9: Eingehaltene Abstände zwischen den Fahrzeugen während des Stehens (Normalverteilung)

	Im Bereich „Start“ [m]	Im Bereich „Terminal“ [m]	Im Bereich „Fähre“ [m]
Mindest-Abstand	1	1	0.5
Maximal-Abstand	3	2	1
Mittelwert	2	1.3	0.8
Standardabweichung	0.2	0.2	0.1

Im Rahmen der fortlaufenden Validierung wurden die aufgenommenen, realen Prozessabläufe anhand von Videos mit den Abläufen des Simulationskerns unter Zuhilfenahme der Visualisierungsumgebung verglichen (siehe Abbildung 10). Die erforderlichen Nachjustierungen, wie beispielsweise für das „Vorziehen“ der LKWs, wurden für alle definierten Standard-Beladungsszenarien aber auch für die variablen Last- und Ladefälle erarbeitet und durch die IGP-Entwickler im Simulationskern umgesetzt. In stetigen Projekttreffen wurden die Datenbasis für die definierten Standard-Beladungsszenarien, die Abbildung der Prozessrealität im Status quo (als Eichungs-Szenario) sowie die Simulation der Lade-Löschprozesse fortführend validiert und die Ergebnisse entsprechend der Meilensteinplanung kritisch hinterfragt.

Abbildung 10: Validierung des Simulationskerns im Eichungs-Zenario durch Vergleich der Visualisierungsumgebung (links) mit Videosequenzen der Ladeprozesse im Status quo (rechts)

Im Fokus der Simulationsuntersuchungen im anschließenden Arbeitspaket stand die prozess- und zeitoptimierte Zuordnung der Fahrzeuge auf die einzelnen Stellplätze bzw. Spuren der unterschiedlichen Fahrzeugdecks für die definierten typischen Standard-Beladungsszenarien und deren Ressourceninanspruchnahme. Dabei wurden zunächst, in stetiger Abstimmung mit den Projektpartnern, die unterschiedlichen Restriktionen für jede Fahrzeugklasse erneut verifiziert, da die Zuordnung der Fahrzeuge auf die einzelnen Stellplätze bzw. Spuren auf den verschiedenen Fahrzeugdecks davon entscheidend beeinflusst wird. Aus den verifizierten Restriktionen ergaben sich folgende vordringlichen Randbedingungen für die Zuordnung der Fahrzeuge auf den Ladedecks einer Fähre:

- Platzierung der VIP-Fahrzeuge mit direkter Möglichkeit, als erstes entladen werden zu können;
- Platzierung der Strom-LKWs an dafür vorgesehenen Stellflächen mit Stromanschluss;
- Platzierung der Omnibusse und Handicap-Fahrzeuge am „Middle Casing“ für einen direkten Zugang zu Treppen und Aufzügen;
- Platzierung der Motorräder auf den dafür vorgesehenen Stellplätzen am Bug des oberen Decks der Fähre.

Für den Funktionsnachweis bzw. zur Fehlerkorrektur des Simulationskerns wurden für jeden der definierten Standard-Beladungsszenarien umfassende Simulations-Experimente seitens der Entwicklungspartner durchgeführt und Ergebnisse mit den Verbundpartnern diskutiert.

In Abbildung 11 sind für ein Simulationsexperiment mit dem Standard-Beladungsszenario Nr. 2 (Bsp. „Pkw & Lkw-Mix ohne Mischstauung bei Auslastung: 58% Terminal, 82% Schiff“) die Eingangsdaten sowie die Ergebnisdaten zusammengefasst. Abbildung 12 zeigt für dieses Simulationsexperiment die Visualisierungsumgebung für die Vorstauspuren auf dem Terminal sowie für die beiden Ladedecks der Fähre.

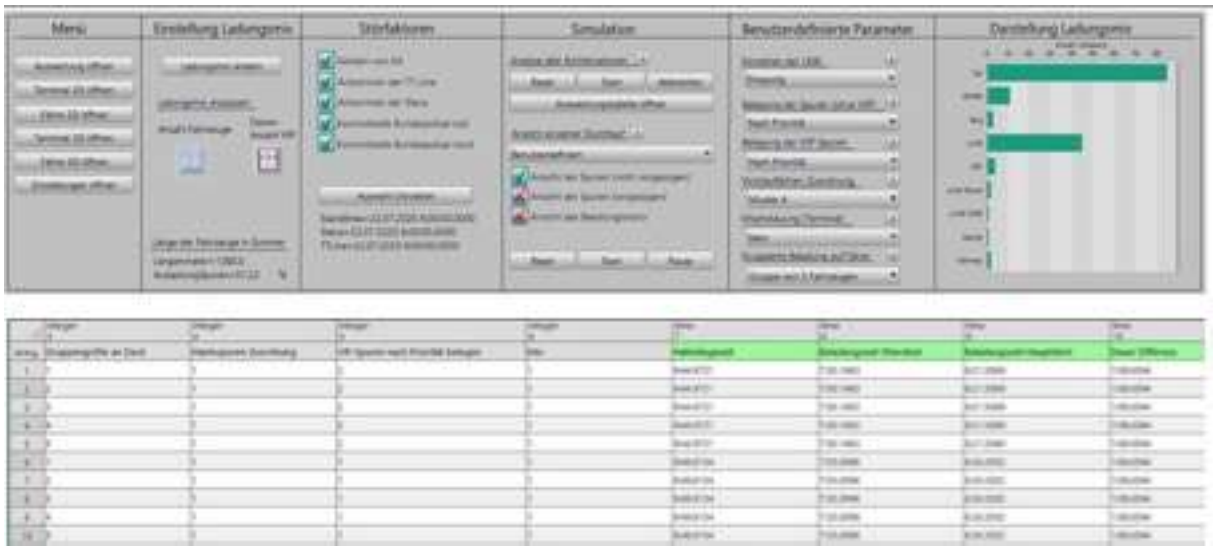


Abbildung 11: Basis- und Ergebnisdaten eines Simulationsexperiment auf Basis Standard-Beladungsszenario Nr. 2 „Pkw & Lkw-Mix ohne Mischstauung“

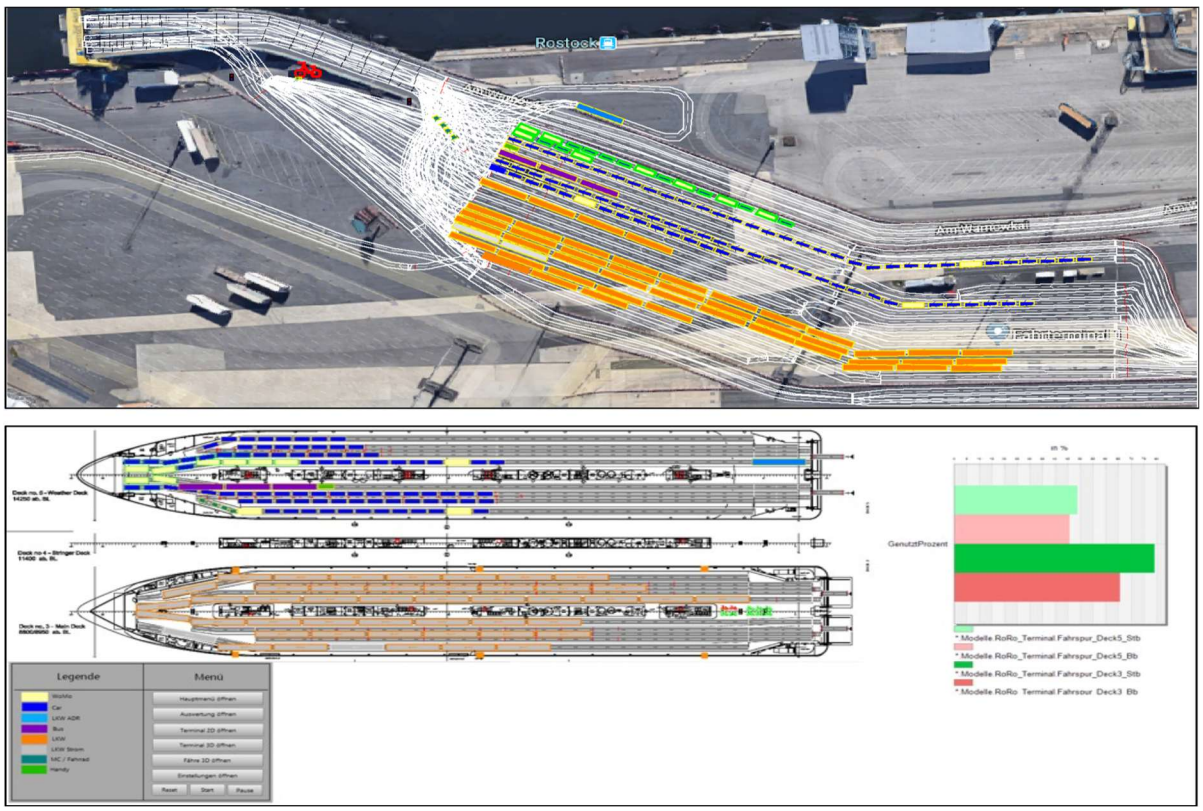


Abbildung 12: Visualisierungsumgebung Terminal und Ladedecks eines Simulationsexperiment auf Basis Standard-Beladungsszenario Nr. 2

Im Hinblick auf das Projektziel Minimierung der Lade-/Löschzeiten wurde ein spezieller Projektreport zur Evaluation des Simulationstools erstellt, in welchem zu jedem Standard-Beladungsszenario die durch Simulationsexperimente verifizierte und zu empfehlende Beladungsstrategie sowie die erreichbare minimale Hafenliegezeit dokumentiert wurden. Eine zusammenfassende Übersicht zu den Simulationsexperimenten, die im Fokus einer Minimierung der Hafenliegezeit durchgeführt wurden, zeigt die Tabelle 10, in der die Potenziale zur Reduzierung der Hafenliegezeit für die definierten Standard-Beladungsszenarien aufgezeigt sind.

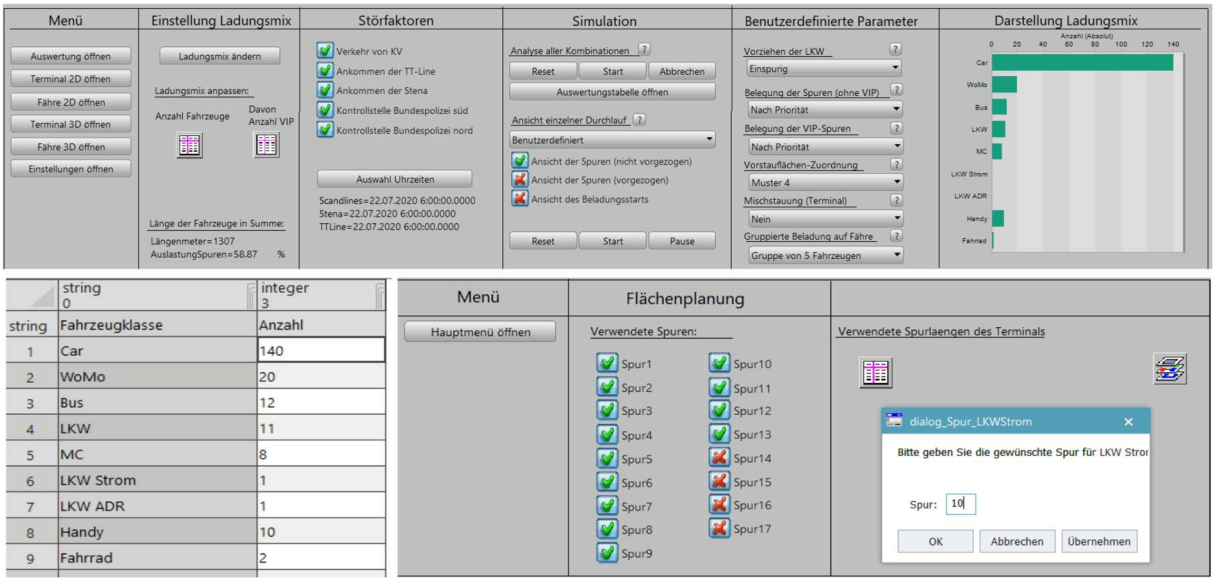
Tabelle 10: Potenziale zur Reduktion der Hafenliegezeit je Standard-Beladungsszenario

Szenario	Ladungsmix		Auslastung	Rahmenbedingungen zur Reduzierung Hafenliegezeit mit Fokus auf eine Treibstoffreduzierung
	[Bezeichnung]	[Charakteristik]	[%]	
1	Spitze Ferien- und Feiertagsverkehr	sehr hohe Auslastung >150 Pkw	>80	Operating sehr anspruchsvoll - Fahrplantreue im Fokus **keine Potential** Hafenliegezeit zu verkürzen
2	Spitze Lkw-Verkehr + mitlere Pkw-Zahl	sehr hohe Auslastung >50 Lkw	>80	Operating sehr anspruchsvoll - Fahrplantreue im Fokus **keine Potential** Hafenliegezeit zu verkürzen
3	Ferienverkehr Pkw	hohe Auslastung 100-200 Pkw-lastig/Busse	>60%	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 70%** Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min
4	Spitze Lkw + wenig Pkw	hohe Auslastung Lkw-lastig	>60%	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 75%** Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min
5	mittlere Auslastung gemischt	mittlere Auslastung Mittlerer Mix	≤60; >40	Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min
6	mittlere Auslastung / Pkw-lastig	mittlere Auslastung Pkw-lastig	≤60; >40	Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min
7	mittlere Auslastung / Lkw-lastig	mittlere Auslastung Lkw-lastig	≤60; >40	Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min
8	geringe Auslastung	geringe Auslastung	30 bis 40	Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit unter 12min
9	sehr geringe Auslastung	sehr geringe Auslastung	20 bis 30	Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit unter 12min
10	Busse und Pkw	mittlere Auslastung Bus-lastig + Pkw	>40	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 65%** Potential zur Reduzierung der Hafenlegezeit bis 12min

Die Systemevaluation im Kontext einer operativen Inanspruchnahme der hafenseitigen Ressourcen sowie der strategischen Hafenplanung erfolgte in abschließenden Simulationsexperimenten. In Abbildung 13 sind für eines dieser Simulationsexperimente auf der Basis des Standard-Beladungsszenarios Nr. 1 (Bsp. „Pkw-lastig, Busse & Lkw Mix, ohne Mischstauung, Auslastung: 59% Terminal, 81% Schiff - 4 Spuren gesperrt“) die Eingangsdaten zusammengefasst. Abbildung 14 zeigt für dieses Simulationsexperiment die Visualisierungsumgebung für die Vorstauspuren auf dem Terminal sowie für die beiden Ladedecks.

Die Ergebnisse dieses Simulationsexperimentes, mit ca. 320 simulierten Kombinationsmöglichkeiten, sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Eine zusammenfassende Übersicht der Potenziale für eine reduzierte Inanspruchnahme der hafenseitigen Ressourcen je Standard-Beladungsszenario zeigt die Tabelle 12.



	string 0	integer 3
string	Fahrzeugklasse	Anzahl
1	Car	140
2	WoMo	20
3	Bus	12
4	LKW	11
5	MC	8
6	LKW Strom	1
7	LKW ADR	1
8	Handy	10
9	Fahrrad	2

Abbildung 13: Basisdaten eines Simulationsexperiment auf Basis des Standard-Beladungs-szenario Nr. 1 - mit vier gesperrten Spuren

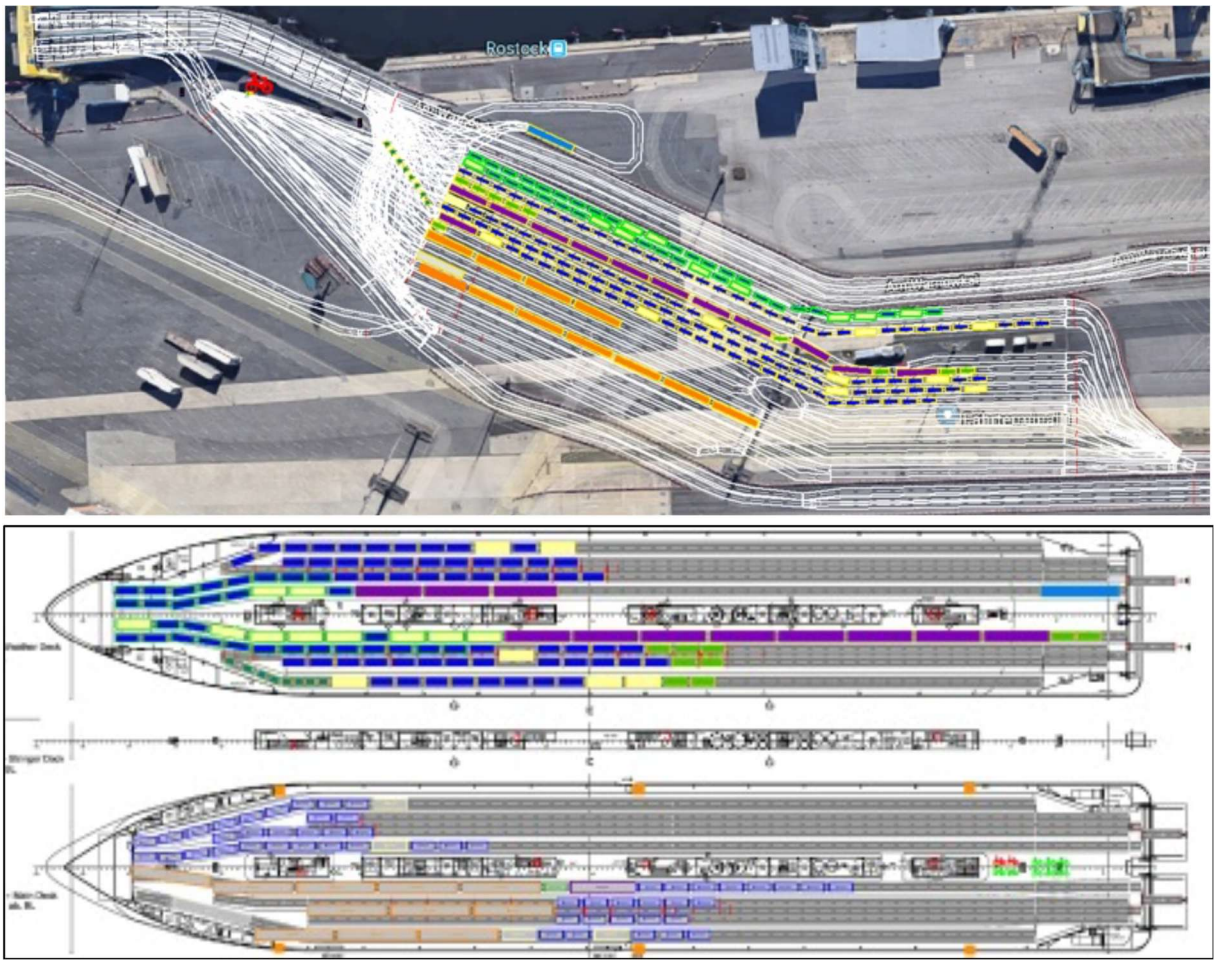


Abbildung 14: Visualisierungsumgebung Terminal und Ladedecks eines Simulationsexperi-ment auf Basis des Standard-Beladungs-Szenario Nr. 1 - mit vier gesperrten Spuren

Tabelle 11: Ergebnisdaten eines Simulationsexperiment auf Basis des Standard-Beladungs-Szenario Nr. 1 - mit vier gesperrten Spuren

time 7	time 8	time 9	time 10	time 11	string 12	string 13
Hafenliegezeit	Beladungszeit Oberdeck	Beladungszeit Hauptdeck	Dauer Differenz	Beladung Maxdauer	Randbedingungen Fähre	Mischstauung Terminal
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.3273	11:12.2204	9:33.0740	1:39.1464	11:12.2204	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.4459	11:12.3390	9:33.1926	1:39.1464	11:12.3390	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.4459	11:12.3390	9:33.1926	1:39.1464	11:12.3390	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.4459	11:12.3390	9:33.1926	1:39.1464	11:12.3390	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.4459	11:12.3390	9:33.1926	1:39.1464	11:12.3390	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:27.4459	11:12.3390	9:33.1926	1:39.1464	11:12.3390	Nicht erfüllt | Omnibus | Handicap	ja
14:36.7490	11:08.2014	10:01.1434	1:07.0580	11:08.2014	Nicht erfüllt | Handicap	ja

Tabelle 12: Potenziale zur Reduktion der Inanspruchnahme der hafenseitigen Ressourcen je Standard-Beladungsszenario

Szenario	Ladungsmix		Auslastung	Rahmenbedingungen zur Reduzierung Hafeninfrastruktur / Anzahl der Spuren, die reduziert werden könnten
	[Bezeichnung]	[Charakteristik]	[%]	
1	Spitze Ferien- und Feiertagsverkehr	sehr hohe Auslastung >150 Pkw	>80	Operating sehr anspruchsvoll - Fahrplantreue im Fokus **keine Potential** zur Reduzierung der Hafeninfrastruktur
2	Spitze Lkw-Verkehr + mitlere Pkw-Zahl	sehr hohe Auslastung >50 Lkw	>80	Operating sehr anspruchsvoll - Fahrplantreue im Fokus **keine Potential** zur Reduzierung der Hafeninfrastruktur
3	Ferienverkehr Pkw	hohe Auslastung 100-200 Pkw-lastig/Busse	>60%	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 70%** Potential zur Reduzierung um **max. 3 Spuren**
4	Spitze Lkw + wenig Pkw	hohe Auslastung Lkw-lastig	>60%	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 75%** Potential zur Reduzierung um **max. 3 Spuren**
5	mittlere Auslastung gemischt	mittlere Auslastung Mittlerer Mix	≤60; >40	Potential zur Reduzierung um **max. 4 Spuren**
6	mittlere Auslastung / Pkw-lastig	mittlere Auslastung Pkw-lastig	≤60; >40	Potential zur Reduzierung um **max. 3 Spuren**
7	mittlere Auslastung / Lkw-lastig	mittlere Auslastung Lkw-lastig	≤60; >40	Potential zur Reduzierung um **max. 4 Spuren**
8	geringe Auslastung	geringe Auslastung	30 bis 40	Potential zur Reduzierung um **max. 4 Spuren**
9	sehr geringe Auslastung	sehr geringe Auslastung	20 bis 30	Potential zur Reduzierung um **max. 5 Spuren**
10	Busse und Pkw	mittlere Auslastung Bus-lastig + Pkw	>40	bei Auslastung der Transportkapazitäten **≤ 65%** Potential zur Reduzierung um **max. 3 Spuren**

Basierend auf den zusammengefassten Aussagen der Tabelle 10 und Tabelle 12 lässt sich im Fazit der Projektarbeit zum Kompetenzfeld 4 „Terminalsysteme“ konstatieren, dass sich mit dem entwickelten simulationsgestützten Planungstool erhebliche Einsparungspotenziale sowohl in Hinblick auf die operative Hafenliegezeit von Fähren als auch für die operative und strategische Infra- und Suprastrukturplanung für Fährterminals darstellen lassen. Somit wurden die inhaltlichen Zielstellungen des Projektes RUBIN – E2MUT TP 1.1 „Konzeption der E2MUT-Verkehrslösungen für multimodale urbane Transportketten und Spezifikation ihrer landseitigen Verkehrsinfrastruktur“ erfüllt.

Fortschritte zum Stand der Wissenschaft und Technik

Aus Sicht der Projektpartner gab es während der Projektlaufzeit keine Innovationssprünge der momentan am Markt verfügbaren Softwaretools zur Prozesssimulation für Hafenanlagen für den horizontalen Güterumschlag. Tendenziell ist lediglich bei den Anwendern eine Hinwendung zu Open-Source-Tools zu beobachten gewesen, da mit diesen die hochpreisigen Lizenzgebühren umgangen bzw. gemindert werden können. Demgegenüber lässt sich aber auch der Trend beobachten, dass renommierte Entwicklungshäuser von Simulationssoftware versuchen, sich branchenübergreifend in Entwicklungsaufgaben von kundenspezifischen Hardwarekomponenten zu integrieren.

Das RUBIN-Verbundprojekt E2MUT TP 1.1 „Konzeption der E2MUT-Verkehrslösungen für multimodale urbane Transportketten und Spezifikation ihrer landseitigen Verkehrsinfrastruktur“ hat einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen und zur Aktualisierung der bestehenden Planungstools für Hafenterminals sowie der Simulationstechnik geleistet. Bei der Projektbeantragung wurde festgehalten, dass für die Etablierung eines E2MUT-Systems in deutschen Häfen nur eine sehr begrenzte Erweiterungsfläche verfügbar ist und daher die Bedeutung von Planungs- und Optimierungssoftware für die Supply-Chain maritimer und/oder urbaner Transportketten stark zunimmt. Hierbei gelten Simulationswerkzeuge als wirkungsvolle Planungsinstrumente. Bisherige Studien und Ansätze konzentrierten sich auf die simulative Auslegung der Supply-Chain von einzelnen Hafenterminals und die darin stattfindenden Prozesse. Besonders der Containerumschlag ist hinsichtlich der Prozesse gut erforscht und hinreichend genau dokumentiert. Beschreibungen von Simulationsstudien anderer Hafenbereiche oder Terminals des kombinierten Ladungsverkehr sind in geringer Anzahl vorhanden, beschränken sich inhaltlich aber auf einen generellen Funktionsnachweis des Terminals. Eine komplexe Untersuchung zur Optimierung einzelner Ladefälle für RoRo- und Fährtechnologie war bisher nicht vorhanden.

Das Teilprojekt 1.1 schließt diese Lücke umfassend und konnte dabei die Hauptprozesse für die Schiffsbe- und -entladung modular abbilden und ist somit für eine multivalente Nutzung geeignet. Darüber hinaus wurden auch operative Besonderheiten für verschiedene Fahrzeugklassen sowie Erfordernisse aus der unterschiedlichen Verteilung der Fahrzeuge für mögliche E2MUT-Einheiten beschrieben. Das Forschungsprojekt zeigt einen allgemein gültigen Ansatz zur Prozessdatenerfassung und -auswertung, mittels Videokameras und automatisierter statistischer Häufigkeitsverteilung für die Fahrzeuggeschwindigkeiten und -abstände zuvor definierter Fahrzeugarten, im Hafenbereich auf. Anhand dieser aufgezeigten Ergebnisse konnte innerhalb einer Simulationsumgebung die Be- und Entladung als ereignisdiskrete Simulation vollständig modelliert und verifiziert werden. Der innovative Sprung des Planungstools basiert auf der Verknüpfung der schiffseitigen Auswahlkriterien für die Zuordnung unterschiedlicher Fahrzeugklassen zu den zwingend erforderlichen Stellplätzen an Bord (z.B.

Gefahrgutstellplätze, Stellplätze mit Stromanschluss, Stellplätze für Kfz mobilitätseingeschränkter Passagiere etc.) mit den Stellplätzen in den Aufstellspuren auf dem Terminal und der simulationsbasierten Bestimmung der Ladereihenfolge, die eine minimale Abfertigungszeit der Fähre ermöglicht.
Die Funktionalitäten der entwickelten Planungs- und Simulationstools optimieren sowohl die Konzeptionsphase für den Einsatz und die Definition konkreter E2MUT-Systeme und/oder neuer maritimer Transportsysteme als auch den Einsatz der Simulationstools bei der Strategieentwicklung zur Kompensation operativer Störungen, die durch den Ausfall einzelner Terminalareale initiiert werden bzw. worden sind. Nicht zuletzt kann das simulationsbasierte Planungstool auch zur Optimierung der erforderlichen Flächeninanspruchnahme in Abhängigkeit verschiedener Beladungsszenarien eingesetzt werden.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die geleistete Entwicklungsarbeit wurde stets unter der Maßgabe effizienter Ressourceninanspruchnahme durchgeführt, wobei insbesondere die Optionen der virtuellen Gruppenarbeit genutzt wurden. Wiederholungen bzw. Präzisierungen z.B. von Detailuntersuchungen im Interesse einer besseren Praxistauglichkeit des entwickelten Planungstools waren stets unumgänglich und führten zu einer erheblichen Verbesserung der Akzeptanz der Projektergebnisse bei den Verbundprojektpartnern.
Der erforderlich gewordene Personalwechsel bei den Projektpartnern des Verbundprojekts VP 1 „Mobilität und Infrastruktur“ sowie der gravierende temporäre Ausfall eines Verbundpartners durch Cyberkriminalität führte in unserem direkten Entwicklerteam nur zu geringen Mehraufwendungen bei der Gewährleistung einer umfänglichen Information über die Arbeitsergebnisse, die kompensiert werden konnten.
Es ist damit zu rechnen, dass die erzielten Ergebnisse die Grundlage für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten darstellen und so zu weiteren Innovationen bei der Optimierung der Hafenprozesse führen werden.
Unseres Erachtens besteht ein öffentliches Interesse an den Projektergebnissen, insbesondere im Hinblick auf die Konzeption sowie Effizienzsteigerung maritimer urbaner Transportketten, in denen hochfrequente Fähr- und RoRo-Dienste eingebunden sind. Auch können die Projektergebnisse verallgemeinert und auf andere Branchen übertragen werden, was wiederum die Basis für weitere Innovation zur Optimierung zeitkritischer Materialflussprozesse unter Verwendung simulationsgestützter Planungstools darstellt.