

Schlußbericht
Zum Verbundprojekt „Baltic Future Port“
FKZ 165GU056B
Teilvorhaben 5 „Baltic Rail Gate“
für den Zeitraum 31.12.2020 – 30.06.2024

Nachdem im Jahr 2022 festgestellt werden musste, dass das ursprüngliche Forschungsziel einer Automatisierung der Kräne nicht möglich ist, wurde in Abstimmung mit dem Projektträger das Forschungsziel dahingehend verändert, für die Krananlage der Baltic Rail Gate einen digitalen Zwilling zu erstellen und an das 5G Netz zu koppeln.

Projektaufbau:

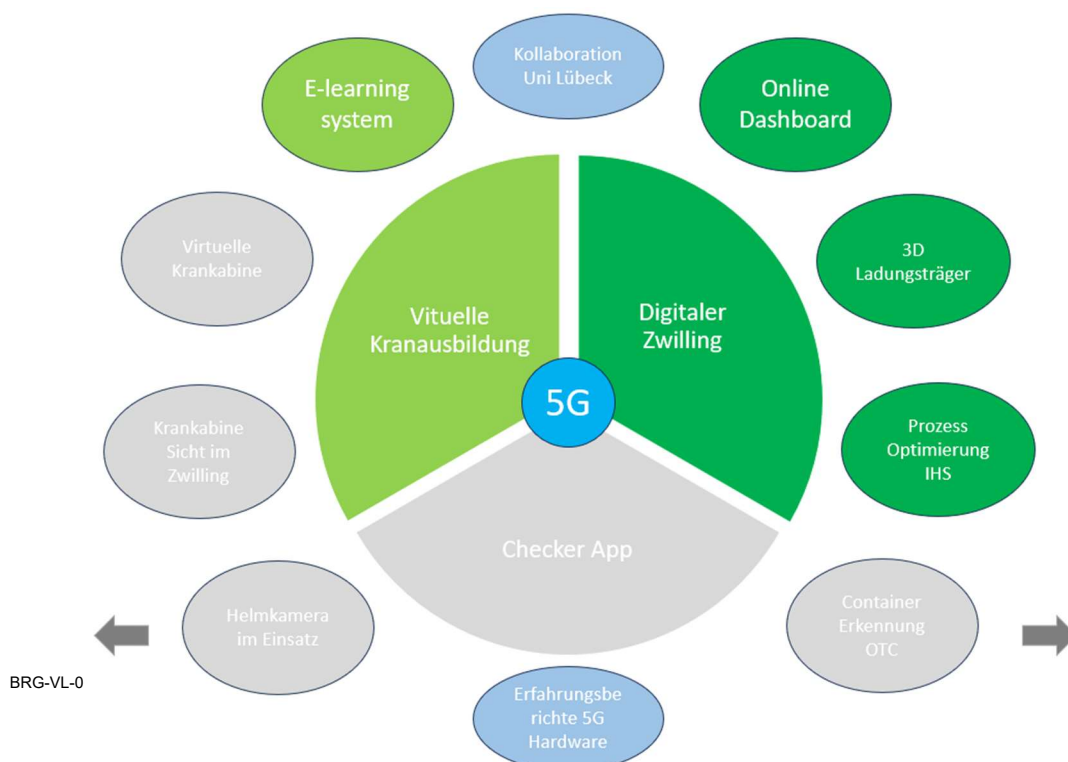
Das Projekt gliedert sich in drei übergeordnete Themenblöcke: den digitalen Zwilling, die Checker-App und Vorschläge für eine virtuelle Kranausbildung.

Der **digitale Zwilling** umfasst die Entwicklung eines Online-Dashboards zur Datenvisualisierung und -verarbeitung, die 3D-Erfassung von Ladungsträgern am Baltic Rail Gate sowie die Optimierung bestehender Logistikprozesse im IHS-System durch die Implementierung von API-Schnittstellen.

Die **Checker-App** beinhaltet die Entwicklung einer Applikation, die den Checkprozess einzelner Ladungseinheiten im Hafen durch KI-Unterstützung vereinfachen soll. Im Rahmen dieses Themenblocks wird zudem neue Hardware in Form von Helmkameras getestet und ein Konzept zur automatischen Erkennung von Beschriftungen evaluiert.

Die **virtuelle Kranausbildung** umfasst die Entwicklung eines E-Learning-Systems sowie die Verknüpfung der Krankabine mit dem digitalen Zwilling, um eine realistische und praxisnahe Schulung zu ermöglichen.

Abbildung 2: Projektkonzept



Die Nutzung digitaler Zwillinge für Hafenanlagen bietet zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen Methoden der Betriebsplanung. Diese Technologie ermöglicht eine präzise und umfassende virtuelle Repräsentation des physischen Hafens und seiner Aktivitäten in Echtzeit. Dadurch wird eine verbesserte Entscheidungsfindung unterstützt und eine Effizienzsteigerung ermöglicht. Im Vergleich zu konventionellen Planungsmethoden können digitale Zwillinge Szenarien virtuell simulieren und deren Auswirkungen auf den Hafenbetrieb analysieren. Dies erlaubt es den Betreibern, potenzielle Engpässe oder ineffiziente Prozesse frühzeitig zu identifizieren und entsprechende Optimierungsmaßnahmen zu ergreifen. Insgesamt bietet diese Technologie eine leistungsstarke Grundlage für die Optimierung von Hafenanlagen, indem sie eine genauere Planung, eine verbesserte Betriebsführung und eine gesteigerte Zusammenarbeit ermöglicht. Der Einsatz digitaler Zwillinge kann zudem die Wettbewerbsfähigkeit von Häfen erhöhen, während gleichzeitig Umweltbelastungen und Betriebskosten reduziert werden.

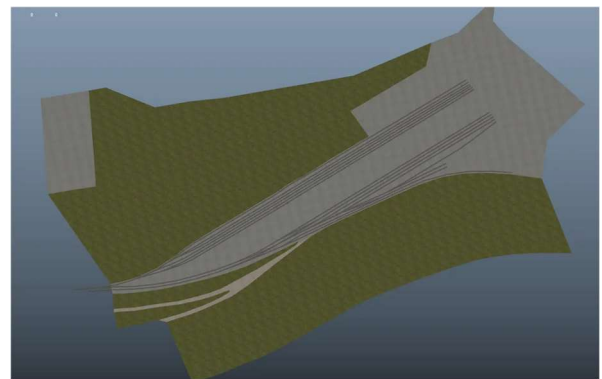
Ein zentraler Punkt der digitalen Darstellung des Baltic Rail Gates ist die digitale Abbildung der Vielzahl an Ladungsträgern. Diese sollen im Modell entsprechend der Buchtungsdaten aus dem Warenwirtschaftssystem dargestellt werden. In einem vorbereitenden Schritt wurde begonnen, eine bisher nicht vorhandene Stammdatenbank aller wichtigen und regelmäßigen Ladungsträger zu erstellen.

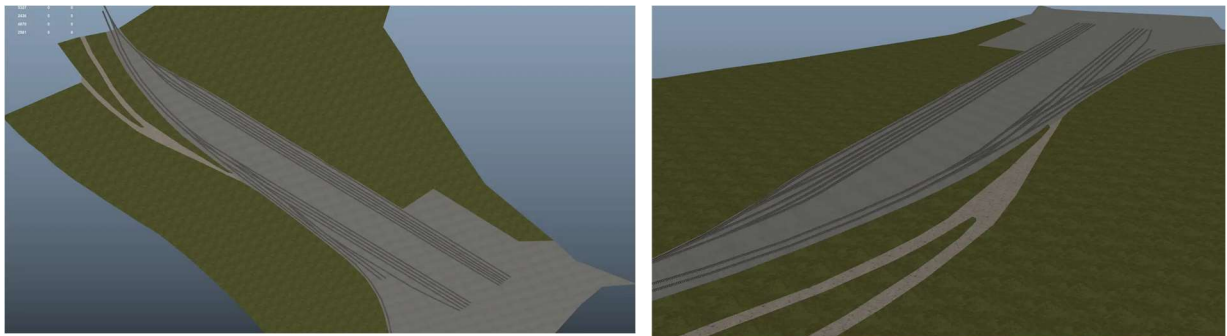
Um die Integration des digitalen Zwillinges in das Tagesgeschäft zu ermöglichen, wurde ein Dashboard als Schnittstelle zwischen dem 3D-Modell und dem bestehenden Warenwirtschaftssystem entwickelt. Dieses Dashboard soll den bisherigen Ablauf der Umschlagsplanung vereinfachen und modernisieren.

Die Konzeptionsphase

Die Konzeptionsphase des 3D-Modells des Baltic Rail Gates orientierte sich zu Beginn an Satellitenaufnahmen, beispielsweise von Google Maps. Auf dieser Grundlage wurde ein erster, rudimentärer Modellentwurf erstellt, der eine grobe Aufteilung des umliegenden Terrains, des eigentlichen Trailergates sowie des zugehörigen Schienennetzes beinhaltete. Auszüge dieses Entwurfes sind in Abbildung 3: Auszüge aus der Konzeptionsphase des späteren digitalen Zwillinges zu finden.

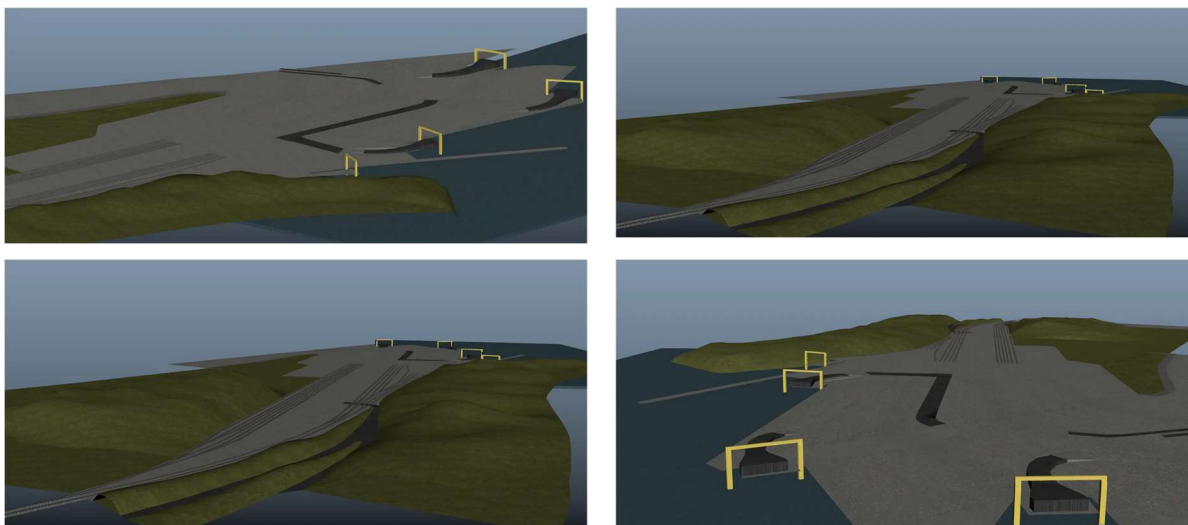
Abbildung 3: Auszüge aus der Konzeptionsphase des späteren digitalen Zwillinges





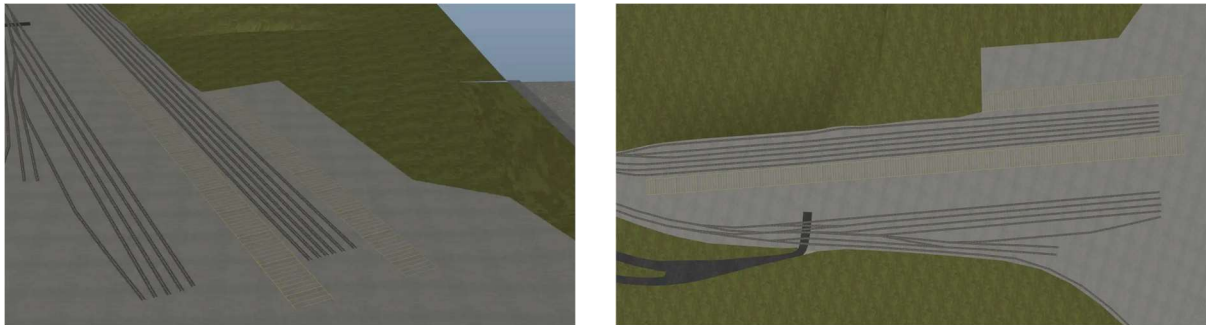
Im weiteren Verlauf der 3D-Modellierung des Baltic Rail Gates wurde das Terrain an die vorhandenen Gegebenheiten des Terminals angepasst und entsprechend modelliert. Zudem begann die Integration der Schiffsanleger sowie eine schematische Darstellung der Laderampen. Erste rudimentäre Zufahrtswege wurden ebenfalls in das Modell eingebunden. Auszüge dieser Entwurfsphase sind in Abbildung 4 zu sehen.

Abbildung 4: Auszüge aus der Konzeptionsphase mit Realterrain und erster Infrastruktur



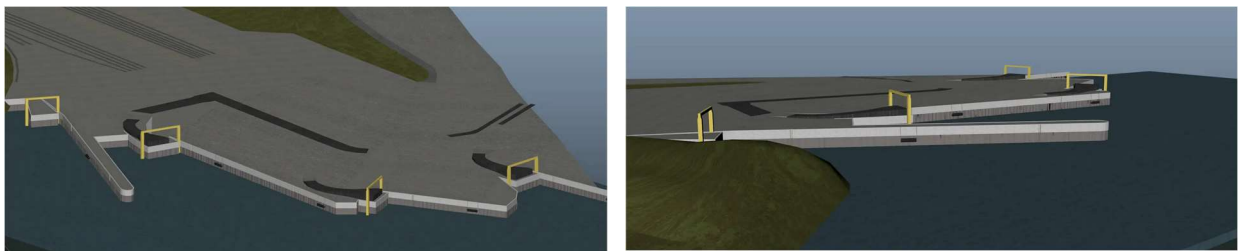
Aufbauend auf der bisherigen Modellierung wurden die Stellplätze für die Ladungseinheiten entlang der Schienen in das Modell integriert. Dabei orientierte man sich an den Vorgaben des Baltic Rail Gates (BRG) hinsichtlich der Ausrichtung und Benennung der sogenannten „K-Bereiche“. Diese K-Bereiche wurden als eigenständige Objekte im Modell angelegt, um bereits in der Konzeptionsphase eine Datenverbindung für jeden einzelnen Stellplatz mit der späteren Schnittstelle zu ermöglichen. Dieser Bereich bildet das Kernstück des digitalen Zwillings, da hier Ladungseinheiten in Echtzeit gemäß der Kommunikation mit dem Logistiksystem realitätsgetreu auf den Schienen und den jeweiligen K-Plätzen dargestellt werden sollen. Auszüge dieser Modellierung sind in Abbildung 5 verdeutlicht.

Abbildung 5: Integration der Stellplätze von Ladungseinheiten am Baltic Rail Gate



Im weiteren Verlauf wurde der Realismus des 3D-Modells erweitert, indem die Liegeplätze um Kaimauern ergänzt und eine realistische Höhenorientierung des Hafengrundes sowie des Wasserspiegels integriert wurden. Mit diesen Ergänzungen wurde das Grundmodell des späteren digitalen Zwillings in seiner Konzeption abgeschlossen. Auszüge dieser Phase sind in Abbildung 6 zu finden.

Abbildung 6: Auszüge der Konzeptionsphase mit Liegeplätzen und Höhenmodellierung



Während der Konzeptionsphase des BRG-Terminals wurden bereits umfangreiche Baumaßnahmen zur Verlängerung der Kranbahnen durchgeführt, die zur Schaffung weiterer Stellplätze (K-Bereiche) führten. Auch wenn diese Baumaßnahmen noch nicht abgeschlossen sind und voraussichtlich bis zum Ende des Förderprojekts nicht fertiggestellt werden, wurde entschieden, die neuen Stellplätze der erweiterten Kranbahn bereits in das 3D-Modell zu integrieren. Auf Grundlage der Baupläne zur Kranbahnerweiterung wurden die Schienen entsprechend verlängert und neue K-Bereiche modelliert. Auch in diesem Fall wurde jeder Einzelstellplatz als eigenständiges, ansprechbares Objekt erstellt, um eine spätere Anbindung an das Logistiksystem zu ermöglichen. Auszüge aus der Erweiterung im 3D-Modell sind in Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke. 7 zu erkennen.

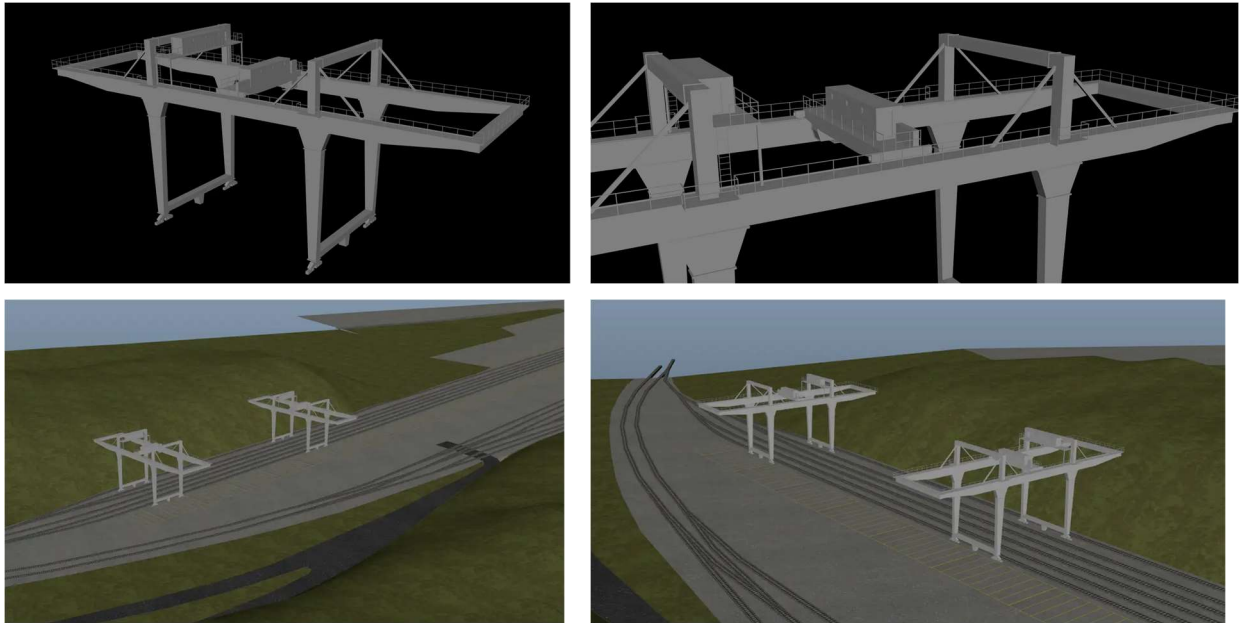


Abbildung 9: Auszüge des 3D Modells nach Abschluss der Konzeptionsphase

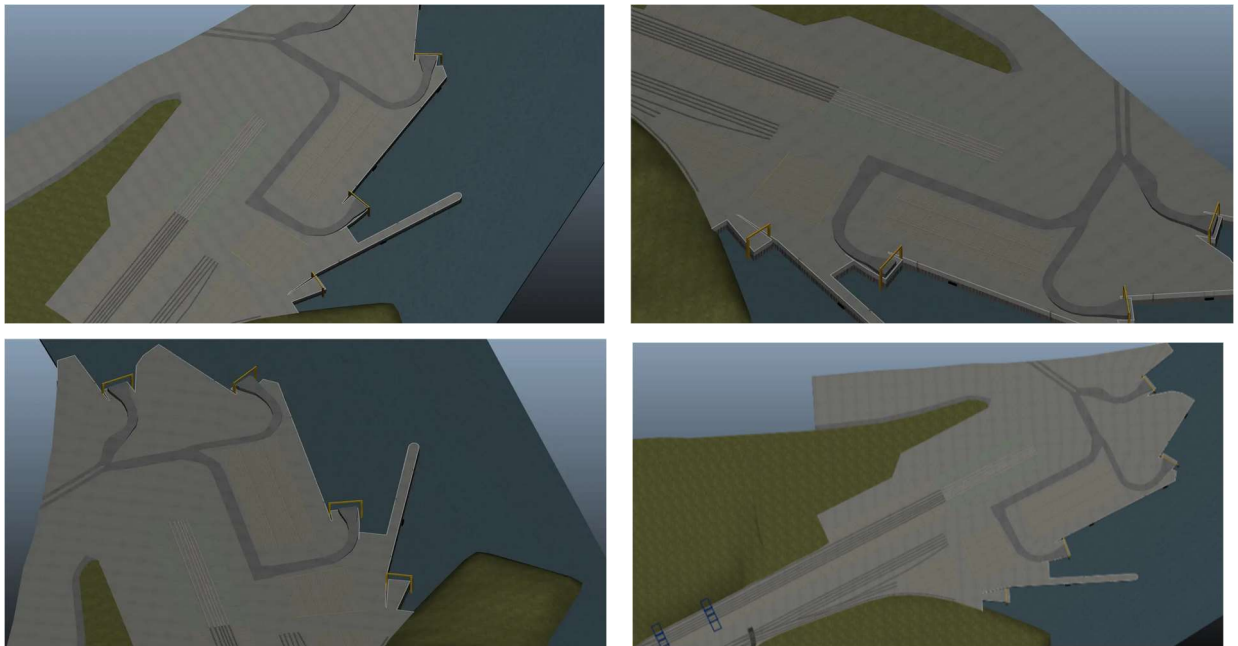
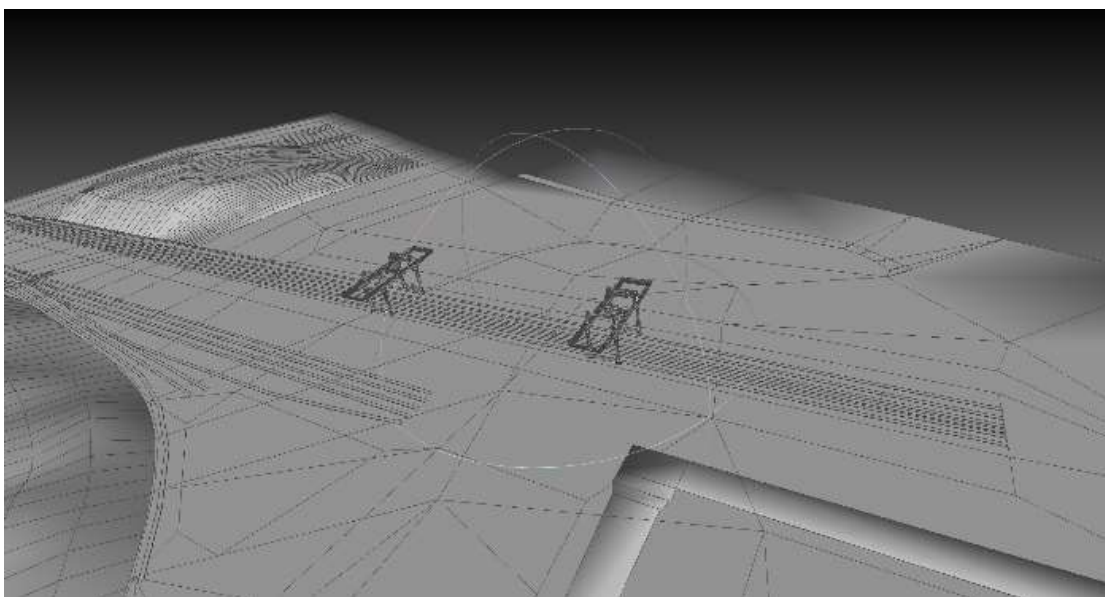
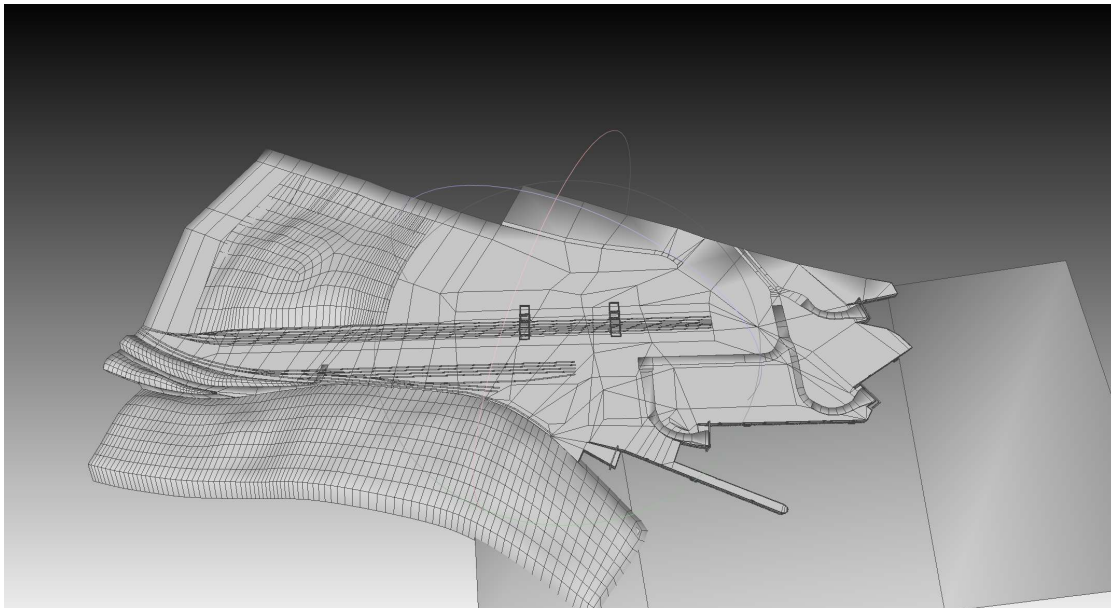
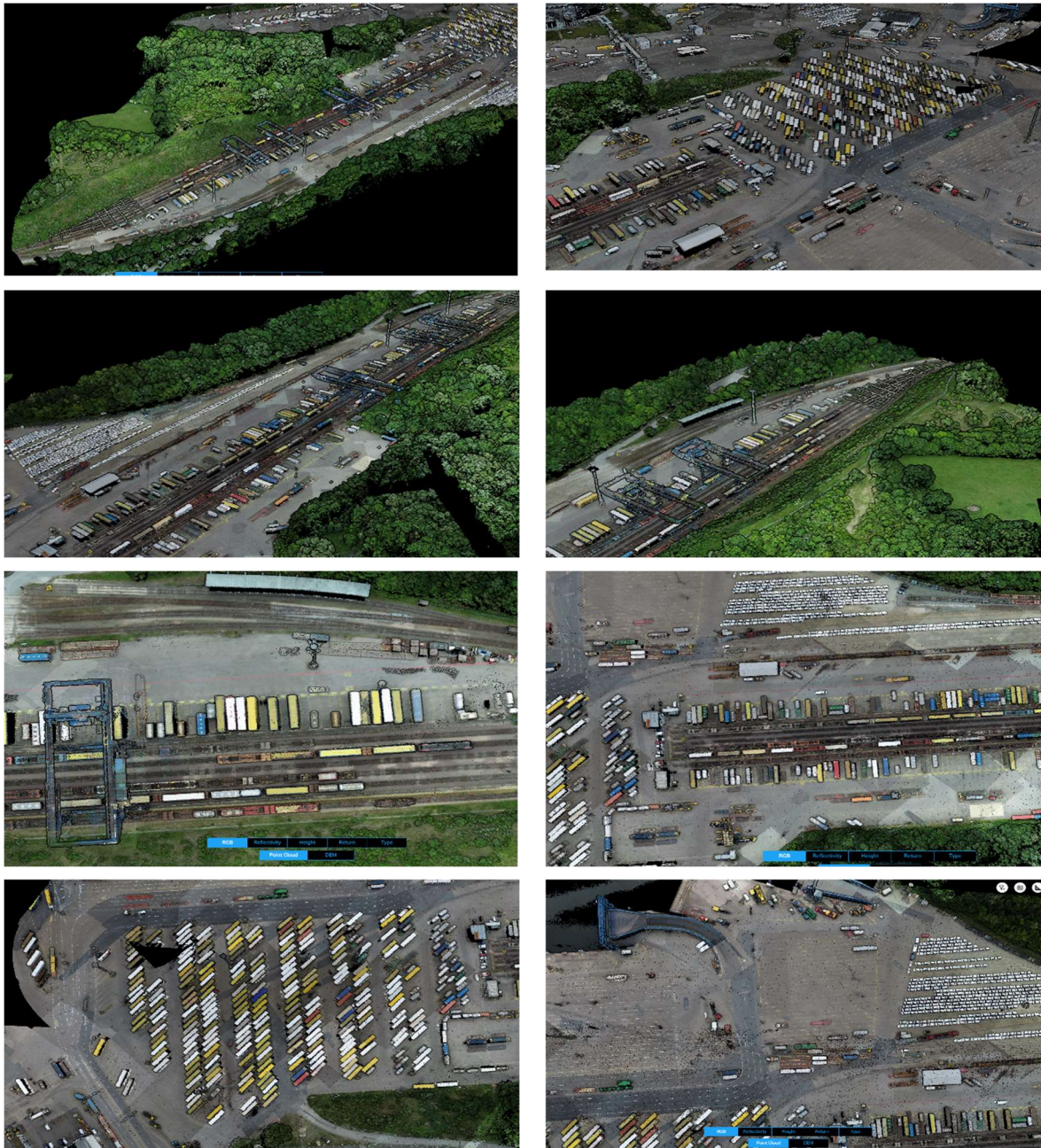


Abbildung 10: Auszüge aus dem Terrainmodell ohne Textur



Die oben aufgeführten Detailmodellierungen wurden von der Universität Lübeck unterstützt, die im Rahmen dieses Förderprojektes ein umfangreiches 3D-LIDAR-Modell mithilfe einer Flugdrohne erstellt hat. LIDAR, eine Kombination aus Laservermessung und Fototextur, ermöglicht eine detailliertere Darstellung der bestehenden Infrastruktur durch eine Punktwolke, die Satellitenaufnahmen deutlich übertrifft. Dies erlaubte es, den Realitätsgrad des 3D-Modells des Baltic Rail Gates im Designprozess erheblich zu steigern. Weitere Details können dem Projektbericht der Universität Lübeck entnommen werden, wobei Auszüge in der Anlage 11 zu finden sind.

Abbildung 11: Auszüge aus dem LIDAR Modell der Universität Lübeck

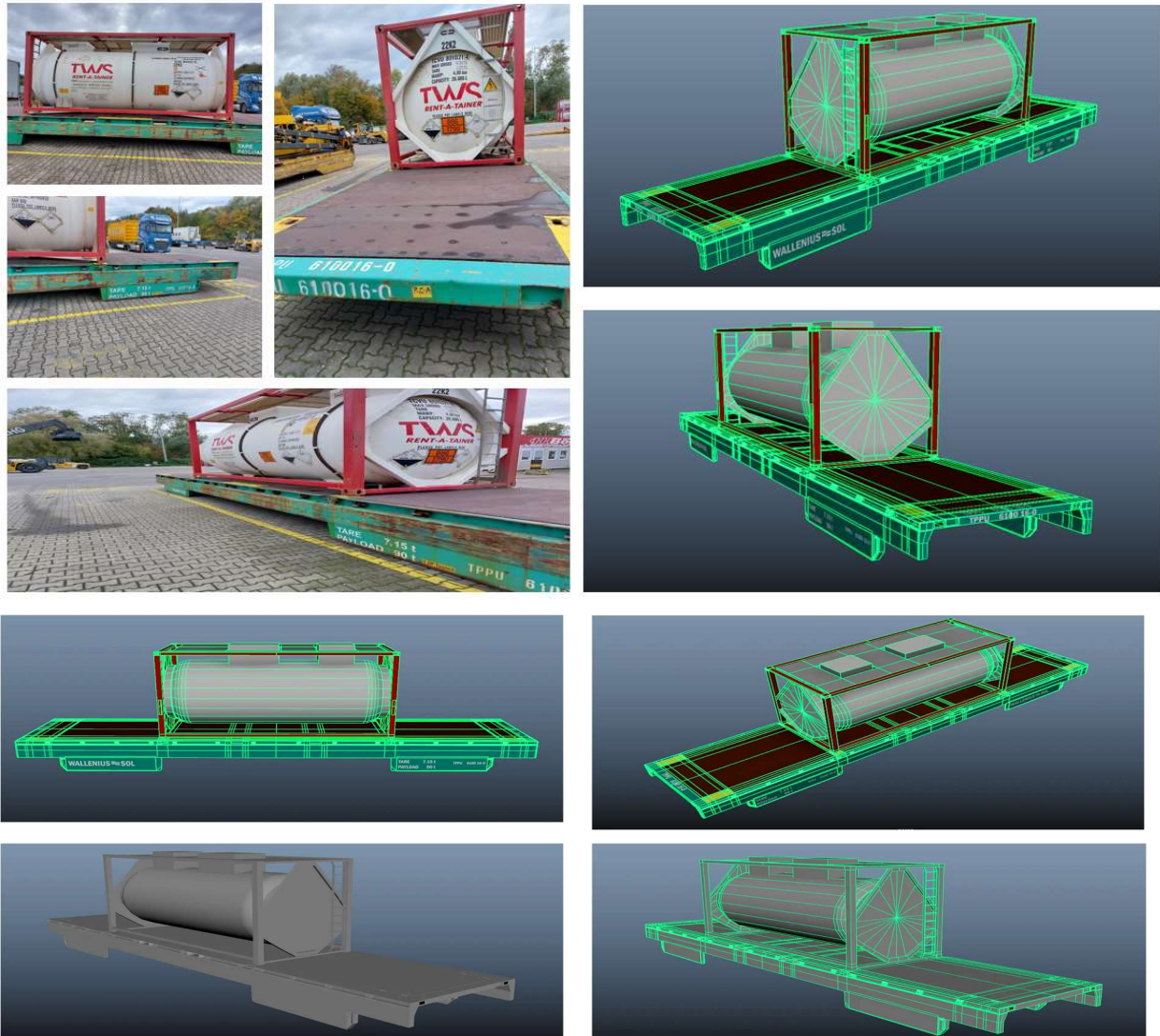


2.2 Erstellung digitaler Ladungsträger

Um das 3D-Modell des Baltic Rail Gates künftig mit den entsprechenden Ladungsträgern zu befüllen, wurden mehrere Begehungen am Terminal durchgeführt. Dabei wurden die vorhandenen Ladungsträger aus dem Tagesgeschäft fotografisch dokumentiert und anschließend in 3D modelliert. Wie in Abbildung 2 gezeigt, konnten aus wenigen Fotos – in der Regel 4 bis 8 Fotos, beziehungsweise 1 bis 2 Fotos pro Ladungsträgerseite – innerhalb weniger Tage realistische 3D-Modelle generiert werden. Bei Verbundeinheiten, wie im unten genannten Beispiel, wurden Ladungseinheit und Ladungsträger als separate Objekte definiert und umgesetzt. Im gezeigten Beispiel handelt es sich um einen 20-Fuß-Tankcontainer auf einer 40-Fuß-Kassette in Einzelbeladung. Im späteren Verlauf der 3D-Darstellung des

Tagesgeschäfts sind beispielsweise auch Doppelbelastungen oder leere Ladungsträger möglich.

Abbildung 22: Digitalisierung eines Einzelladungsträgers



Um einen realistischen Ausschnitt beispielhafter Ladungsträger aus dem Tagesgeschäft zu erhalten, wurden die Umschlagszahlen aus dem Monat Februar 2024 als Referenz herangezogen. Beispiele 3D modellierter Ladungsträger aus der Stichprobe wurden in Abbildung 12 dargestellt. Aus den insgesamt 1.346 umgeschlagenen Ladungsträgern wurden die 25 häufigsten, gemessen am Umschlag des Monats, ausgewählt. Die Verteilung der Ladungsträger nach Häufigkeit ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 33: Darstellung unterschiedlicher digitaler Ladungsträger

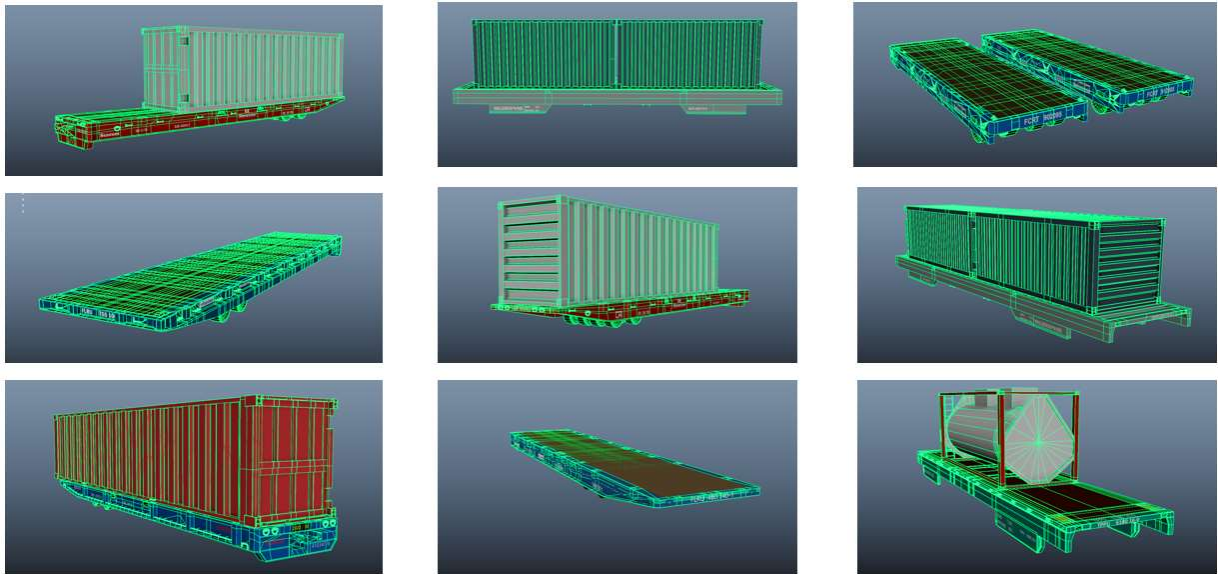
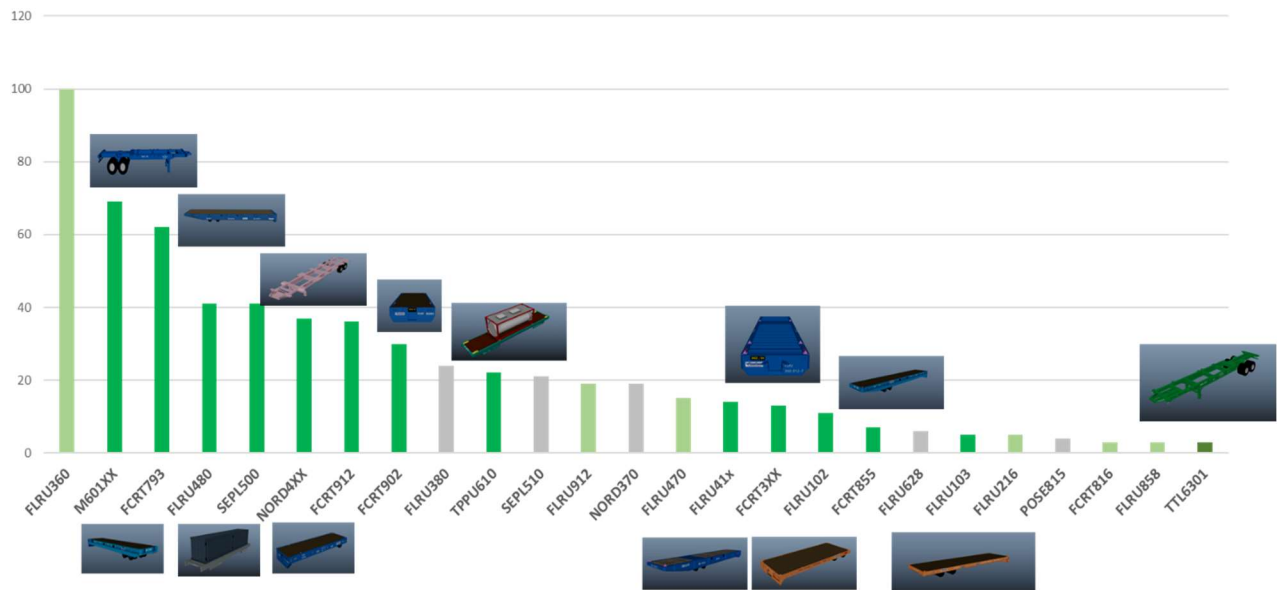


Abbildung 44: Verteilung der 25 häufigsten Ladungsträger 02-2024

Verteilung Ladungsträger BLG Jan-Feb 2024



Im finalen Schritt der Konzeptionsphase wurden die Waggons modelliert, wie in Abbildung 15 zu sehen, und maßstabsgetreu in den digitalen Zwilling integriert. Hierbei wurde bereits darauf eingegangen, dass eine Zugeinheit aus bis zu 21 Waggons bestehen kann, welche entsprechend dargestellt werden (Abbildung 66).

Abbildung 55: 3D Modellierung eines Zugwaggons

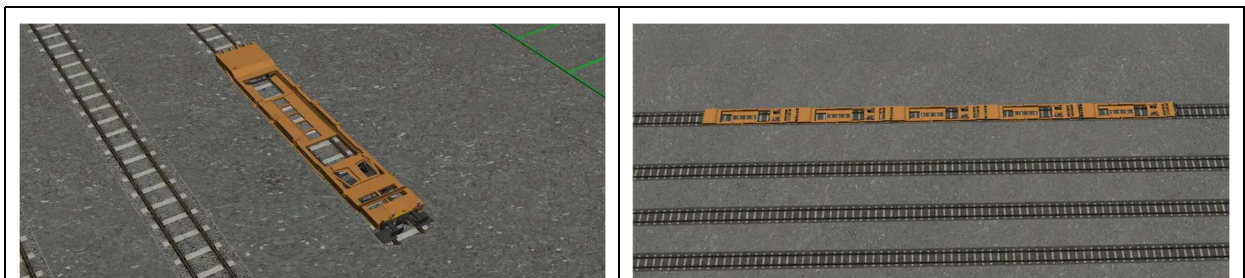


Abbildung 66: Darstellung von Waggonketten im 3D Modell

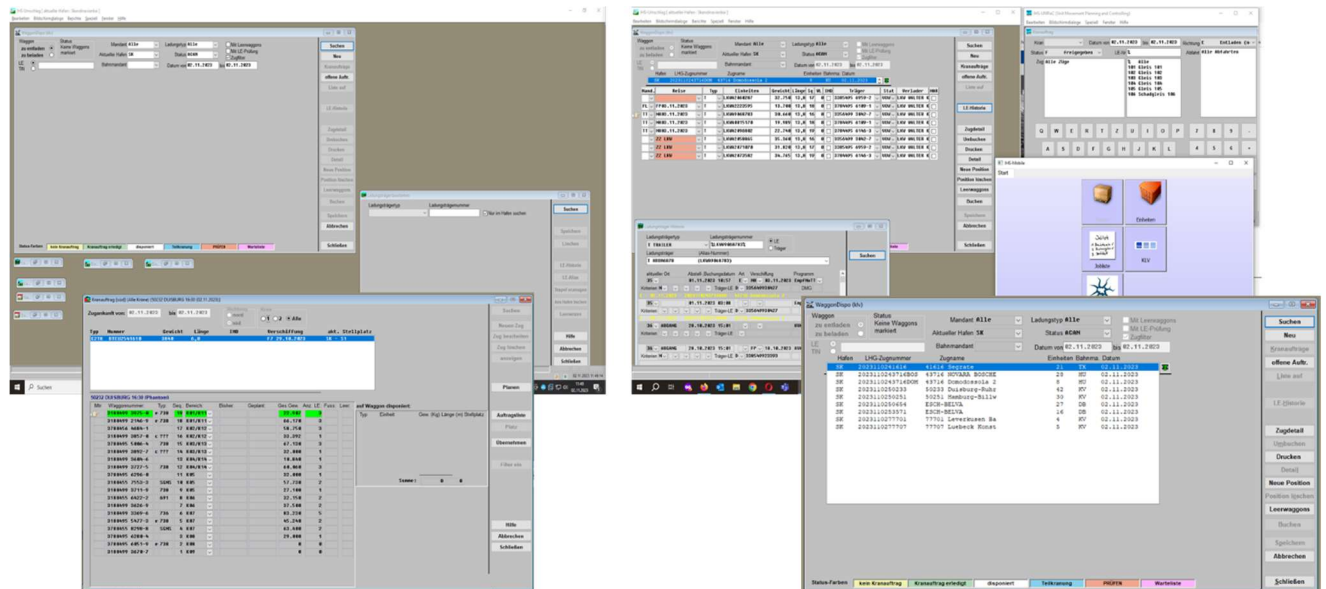
Zusammenfassend beinhaltet die Konzeptionsphase die 3D-Konstruktion des Terrains, der Hafenanlage, der Kranbahn, einer realistischen Auswahl unterschiedlicher Ladungsträger aus dem Tagesgeschäft und der Waggoneneinheiten. Im folgenden Kapitel wird das Frontend im Detail beschrieben, welches die Daten darstellen wird.

2.3 Die Realisierungsphase

Das vorherige Kapitel beschreibt im Detail die einzelnen Schritte, die zur Erstellung des 3D-Modells des Baltic Rail Gates geführt haben. Dieses Modell bildet die Grundlage, auf der der digitale Zwilling mit dem Logistiksystem der Lübecker Hafen-Gesellschaft (LHG) kommunizieren soll. Um diese Kommunikation zu realisieren und die Daten entsprechend darzustellen, wurde im Rahmen des Projekts ein neues Frontend entwickelt. Dieses Frontend soll die zukünftige Arbeit am 3D-Modell unterstützen und effizient gestalten.

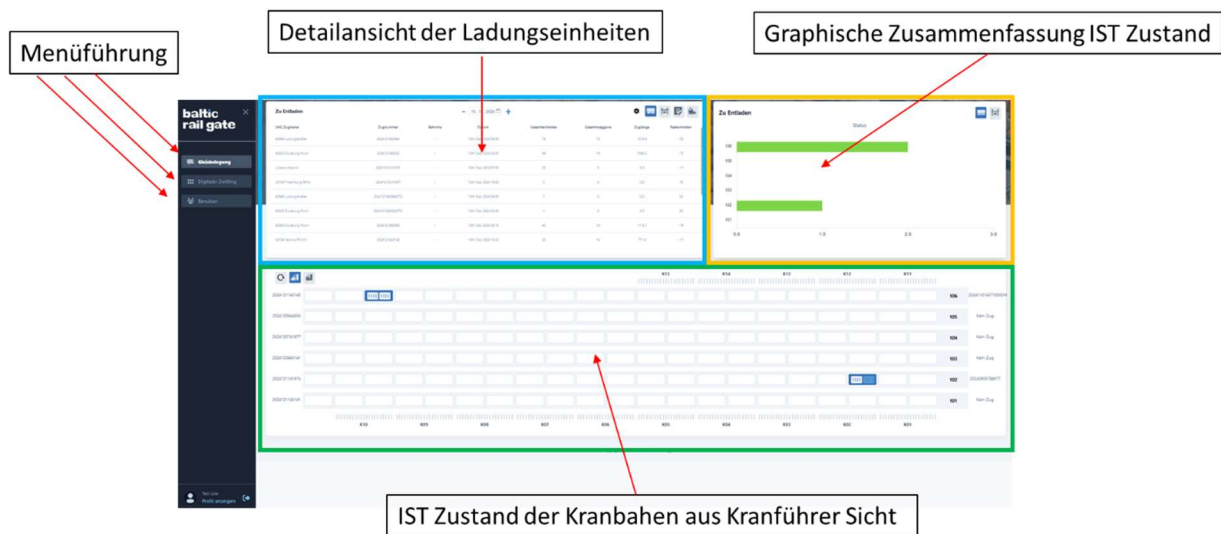
Das in Abbildung 77 dargestellte Frontend des BRG vor Projektstart bestand aus einer Vielzahl einzelner Fenster, Tabs und Programme, die zu Beginn jedes Arbeitstages manuell gestartet und angeordnet werden mussten. Es wurde geschätzt, dass dieser Prozess der Arbeitsplatzeinrichtung pro Person täglich etwa 10 bis 15 Minuten in Anspruch nahm. In der Summe entsprach dies pro Woche dem Arbeitsaufwand einer Vollzeitkraft.

Abbildung 77: Altes Frontend am BRG



Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Modernisierung des bisherigen Zustands hin zu einem zeitgemäßen Niveau durch die Konzeption und Entwicklung eines neuen Frontends auf Basis von React.js und Tailwind CSS.

Abbildung 88: Komponentenübersicht des BRG Frontends



Die **Detailansicht der Ladungseinheiten** ist logisch in vier Bereiche unterteilt: „Zu entladen“, „Zu beladen“, „Nacherfassung“ und „Zugzulauf“. Diese Komponenten decken sämtliche Ebenen der Supply Chain des Baltic Rail Gates ab und liefern in Kommunikation mit dem

Logistiksystem „IHS“ eine sofortige Übersicht über alle Betriebsaspekte des Tagesgeschäfts. Die Informationsdarstellung in diesem Bereich gliedert sich wie folgt auf:

1) Zu Entladen

- LHG Zugname
(Zugname aus dem Logistiksystem bei Ankunft)
- Zugnummer
(Zugnummer aus dem Logistiksystem bei Ankunft)
- Bahnmandant
(BRG Kunde)
- Datum
(Datum der Zugankunft)
- Gesamteinheiten
(Summe aller Einheiten auf dem Zug bei Ankunft)
- Gesamtwaggons
(Summe aller Waggons auf dem Zug bei Ankunft)
- Zuglänge
(Länge des Zuges als Summe aller Einzelwaggons)
- Resteinheiten
(Noch zu entladene Einheiten auf dem Zug)

2) Zu Beladen

- LHG Zugname
(Zugname aus dem Logistiksystem bei Abfahrt)
- Zugnummer
(Zugnummer aus dem Logistiksystem bei Abfahrt)
- Bahnmandant
(BRG Kunde)
- Datum
(Datum der Zugabfahrt)
- Gesamteinheiten
(Summe aller Einheiten auf dem Zug bei Abfahrt)
- Gesamtwaggons
(Summe aller Waggons auf dem Zug bei Abfahrt)
- Zuglänge
(Länge des Zuges als Summe aller Einzelwaggons)
- Resteinheiten
(Anzahl der noch zu beladenden Einheiten bis Abfahrt)
- Gleis
(Gleisposition des Zuges)
- Zulässiges Gewicht
(Zulässiges Gewicht bei Beladung)

3) Nacherfassung

- Typ
(Typ der Ladungseinheit)
- Nummer
(Nummer der Ladungseinheit)
- Länge
(Länge der Ladungseinheit)
- IMO
(Gefahrguttransport)

- Verschiffung
(Zugehöriges Schiff bei der Weiterführung)
- Aktueller Stellplatz
(Zugewiesener K-Bereich am Terminal)
- Sequenz
(Reihenfolge auf dem Zug)
- Waggonnummer
(Waggonnummer der Ladungseinheit)
- Anzahl Ladeeinheiten
(Anzahl der Ladungseinheit/en auf dem Waggon)

Der Reiter „Nacherfassung“ wurde bereits integriert, obwohl eine Schreibfunktion des Frontends in das Logistiksystem noch nicht etabliert ist. Diese Funktionalität soll möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt nach Projektende umgesetzt werden. Für den aktuellen Projektstatus und die technische Demo wurde vereinbart, sich auf eine reine Informationsbetrachtung zu beschränken, ohne dass Informationen über das Frontend verändert werden können.

4) Zugzulauf

- Zugname
(Zugname aus dem Logistiksystem bei Ankunft)
- Zugnummer
(Zugnummer aus dem Logistiksystem bei Ankunft)
- Anzahl Ladeeinheiten
(Summe aller Einheiten auf dem Zug bei Ankunft)
- Voraussichtliche Ankunftszeit
(geplante Ankunftszeit des Zuges)

Der Dashboard-Bereich **Zusammenfassung des IST Zustandes** stellt zwei graphische Darstellungen des Verladungszustands der Züge im Terminal dar, wie in Abbildung 19 beschrieben. Eine Darstellung ist ein horizontales Balkendiagramm mit einem Balken für jedes Gleis und den darauf befindlichen Zug. Die Balken geben Aufschluss über den Verladestatus. Die zweite Darstellung ist ein Kreisdiagramm mit detaillierten Informationen über den Status der Zugbeladung wie:

- Gesamteinheiten pro Zug
- Verladene Einheiten
- Einheiten auf den K-Plätzen
- Einheiten im Hafen
- Gesperrte Einheiten
- Status der Einheit

Abbildung 19: Graphische Zusammenfassung IST Zustand



Der Bereich IST Zustand der Kranbahn (Abbildung 20) visualisiert die einzelnen Gleise mit dem derzeitigen Belegungsstatus wie Waggons und den einzelnen Ladungseinheiten auf einem Waggon. Es werden hierbei 4 Szenarien pro Gleiseinheit unterschieden. 1) Gleis leer 2) Gleis belegt mit einem leerem Waggon 3) Gleis belegt mit einem Waggon mit einer Ladungseinheit 4) Gleis belegt mit einem Waggon mit zwei Ladungseinheiten.

Abbildung 20: IST Zustand Kranbahnen



Die Anordnung der Dashboard-Bereiche, wie oben beschrieben, wurde in enger Abstimmung mit dem Personal des Baltic Rail Gates vorgenommen, um eine optimale Verteilung der benötigten Informationen zu gewährleisten. Im Zuge dieser Strukturierung der Daten wurden auch Verbesserungen implementiert, die im bestehenden IHS-System nicht umsetzbar waren. Die Neuordnung der Datenvisualisierung bildet somit die Grundlage für den Umgang mit neuartigen 3D-Darstellungen und bietet gleichzeitig einen vereinfachten Zugang zu wichtigen Umschlagsinformationen.

2.4 Die Test- und Optimierungsphase

Der digitale Zwilling des Baltic Rail Gate ist eine webbasierte Anwendung, die darauf abzielt, die Umschlaglogistik zu optimieren, indem sie eine präzise Verfolgung der Standorte und Buchungsstati über verschiedene Betriebsstufen hinweg ermöglicht – von der Ankunft des Zuges über das Be- und Entladen von Ladungseinheiten bis hin zur Abfahrt des Zuges. Die Plattform bietet eine Echtzeitübersicht der Abläufe vor Ort, wodurch Transparenz und Effizienz im Einheitenmanagement erheblich verbessert werden.

Projekt-Highlights und erreichte Meilensteine:

Verfolgung der Ladeeinheiten und Interface-Verbesserungen:

Ausrichtung von Zügen und K-Stellplätzen: Wichtige Schnittstellen wurden verfeinert, um Ladeeinheiten visuell mit Zugstrecken und K-Stellplätzen abzustimmen, was eine genaue Verfolgung der Ladeeinheitenstandorte über alle Betriebsstufen hinweg ermöglicht.

Echtzeit-Datenanzeige: Interface-Elemente wie Tabellen und Grafiken werden jetzt dynamisch mit Echtzeitdaten gefüllt, sodass Nutzer aktuelle Informationen zu Ladeeinheitenstandorten und -status erhalten.

Benutzerverwaltung und rollenbasierter Zugriff:

Konfiguration von Benutzerrollen:

Ein robustes Benutzermanagementmodul wurde implementiert, das sichere, rollenbasierte Zugriffskontrollen und administrative Funktionen ermöglicht.

Integration von Drittanbietern und API-Entwicklung:

API für Zug- und Ladeeinheitenbuchungsdaten: Eine API wurde entwickelt, um Drittanbieterdaten wie Zugankünfte/-abfahrten und Buchungsupdates zu integrieren und eine genaue und konsolidierte Verfolgung zu gewährleisten.

Zusammenarbeit bei Datenvalidierung:

Die Zusammenarbeit mit Drittentwicklern wird fortgesetzt, um Eingabeformate zu standardisieren, Fehler zu minimieren und die Datenkonsistenz zu verbessern.

Vorbereitung der 3D-Modell-API:

Vorbereitungen sind im Gange, eine API einzuführen, die ein 3D-Visualisierungsmodell unterstützt und eine interaktive Darstellung der Zug- und Ladeeinheitenlayouts bietet.

Sicherheits- und Compliance-Verbesserungen:

Authentifizierung über Azure AD: Sichere Anmeldungen wurden in Azure Active Directory integriert, um den Sicherheitsanforderungen der Organisation gerecht zu werden.

Automatisierte Zertifikatsverwaltung:

Certbot wurde für die automatisierte Verwaltung von SSL-Zertifikaten implementiert, um verschlüsselte Kommunikation und verbesserte Sicherheit zu gewährleisten.

Deployment und Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD):

GitLab CI/CD-Pipeline: Eine robuste CI/CD-Pipeline wurde eingerichtet, die automatisierte Tests, Builds und Deployments unterstützt und schnellere Updates und Feature-Einführungen ermöglicht.

Dockerisierte Umgebungen:

Die Anwendung wurde komplett mit Docker containerisiert, was skalierbare, konsistente Deployments über verschiedene Umgebungen hinweg ermöglicht.

Verbesserte Datenvisualisierung und Benutzerinteraktion:

Erweiterte visuelle Dashboards: Wichtige Kennzahlen werden über dynamische und interaktive Grafiken dargestellt, die das Monitoring von Datenentwicklungen erleichtern.

Interaktive Highlights und Tooltips:

Funktionen wie Tooltips und interaktive Elemente (z. B. anklickbare Zugstrecken, die mit K-Bereichen verknüpft sind) wurden hinzugefügt, um die Navigation und Datenzugänglichkeit zu verbessern.

Integration der 3D-Visualisierung:

Abschluss und Deployment der 3D-Modell-API, um eine Echtzeit-, interaktive Ansicht von Container- und Zugbewegungen bereitzustellen.

Verbesserte Datenvalidierung bei Partnern:

Abschluss der Angleichung an Datenstandards von Drittanbietern, um Fehler weiter zu reduzieren und die Zuverlässigkeit integrierter Daten zu verbessern.

Benutzerunterstützung und Feedback:

Einbindung von Benutzerfeedback zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und zur Lösung betrieblicher Herausforderungen.

Die Erstellung des Dashboards des Baltic Rail Gates wurde in 7 Cluster unterteilt. Zu diesen Clustern zählen:

- ➔ Interface-Entwicklung
- ➔ Backend-Entwicklung
- ➔ Datenvisualisierung
- ➔ Sicherheit und Authentifizierung
- ➔ Deployment
- ➔ Lokalisierung und Benutzerfreundlichkeit

Das Diagramm kategorisiert die GitLab-Aufgaben in sechs Fokusbereiche: Schnittstellenentwicklung, Backend-Entwicklung, Datenvisualisierung, Sicherheit und Authentifizierung, Deployment sowie Lokalisierung/Benutzererfahrung. Jede Kategorie hebt die spezifischen durchgeführten Aufgaben hervor und zeigt eine klare Struktur sowie eine ausgewogene Aufgabenverteilung. Diese Darstellung verdeutlicht den ganzheitlichen Ansatz des Projekts, der sowohl technische als auch nutzerorientierte Aspekte berücksichtigt, um eine erfolgreiche Implementierung und Auslieferung sicherzustellen.

Abbildung 21: Zusammenfassug nach Entwicklungsthemen

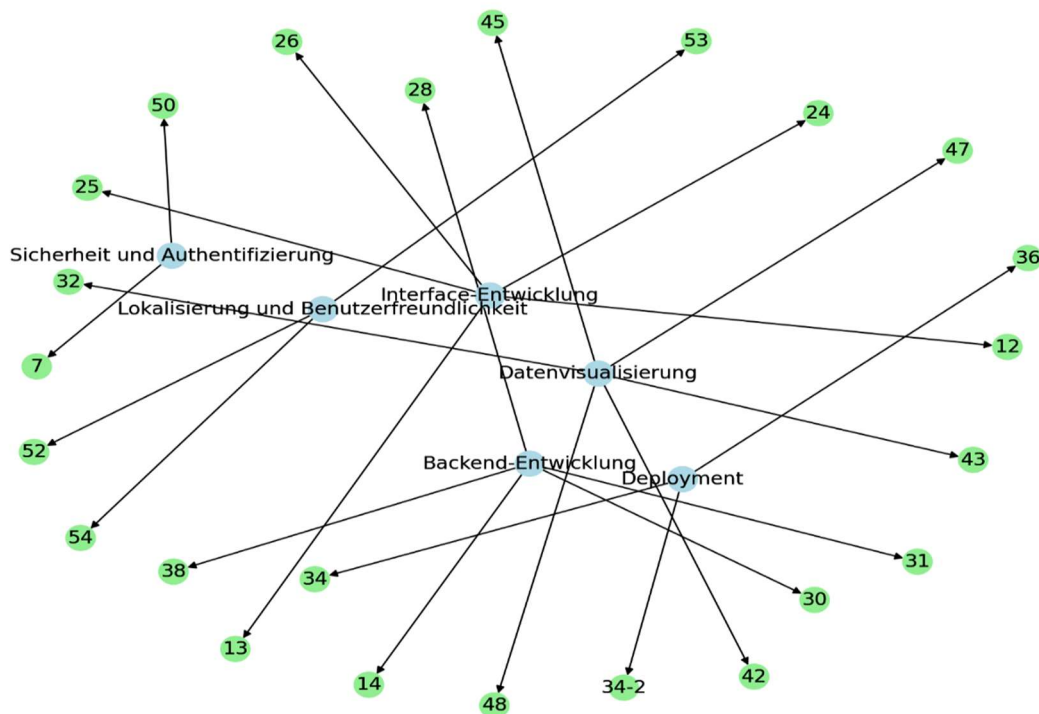


Tabelle 1: Zusammenfassung nach Entwicklungsthemen

Nummer	Task
Interface-Entwicklung	
12	Erstellung der Zugplan-Schnittstelle
13	Fehlerbehebung in der Zugplan-Schnittstelle
25	Ausrichtung der Waggons mit dem K-Bereich
24, 26	Verbesserungen am Front-End
Backend-Entwicklung	
14	Backend-Schema für Container
28	temporäre Datenbanktabelle zur Erfassung von Anfragen
30	Verbindung von Backend-Daten mit dem Front-End
31	Erstellung einer API zum Empfang von Zugdaten
38	Anpassung des Backends zur API-Kommunikation
Datenvisualisierung	
32	Befüllen von Tabellen und Grafiken mit Backend-Daten
42	Befüllen des oberen rechten Balkendiagramms
43	Befüllen des oberen rechten Donut-Diagramms
45	Befüllen der Entladetabelle
47	Befüllen der Zugzulauftabelle
48	Hervorhebung des K-Bereichs, bei Auswahl Zugstrecke
Sicherheit und Authentifizierung	
7	Einrichtung der Authentifizierung mit Azure AD
50	Entwicklung des Benutzermoduls
Deployment	
34	Änderung des Deployments zur Nutzung des Git-Registers
36	Neugestaltung des Datenbankschemas
Lokalisierung und Benutzerfreundlichkeit	
53	Hinzufügen von Tooltips zu allen Buttons
54	Übersetzung aller Seiten ins Deutsche
52	Anpassung der Diagramme an größere Bildschirme

3 Die Checker Application

3.1 Konzeptions- und Realisierungsphase

Die Checker Application des Baltic Rail Gates hat das Ziel, die Checkvorgänge ankommender Trailer und Ladungseinheiten am Terminal durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen effizienter zu gestalten. Besonders im Winter, bei widrigen Witterungsbedingungen wie Kälte und Regen, erweist sich die manuelle Eingabe auf Tablets, wie sie im bisherigen Checking-Prozess verwendet wird, als herausfordernd. Eine sprachbasierte Erkennung von Schäden, bei der ein Checker Schäden per Zuruf an die Applikation meldet, verspricht hierbei eine deutliche Erleichterung der Betriebsabläufe und eine Verbesserung der Effizienz.

Abbildung 22: Übersicht der Checkprozesse in der Checking App

Nummer	Typ	Ort	Reise	Zug	Status	Disp
ORSHD-HKPB65078	K	SK K21008	ND02.05.2024	4801 BERLIN 1815 (05.05.24)	S	K01
ORSHD-HKPB65176	M	SK K21002	ND03.05.2024	4801 BERLIN 1815 (05.05.24)	F	K06
ORSHD-HKPB73437	M	SK K21007	ND04.05.2024	47012 PARIS 1445 (05.05.24)	P	K07
ORZHD-HKPB32051	M	SK K21010	ND09.05.2024	4801 BERLIN 1815 (05.05.24)	F	K03
ORASHD-HKPB27627	T	SK K21011	ND01.05.2024	5008 DUISBURG 23.30 (07.05.24)	T	K07
ORSHD-HKPB71732	T	SK K21008	ND10.05.2024	4801 BERLIN 1815 (05.05.24)	S	K01
ORSHD-HKPB83820	K	SK K21001	ND06.05.2024	4801 BERLIN 1815 (05.05.24)	P	K04

Die Checker Application des Baltic Rail Gates hat das Ziel, die Checkvorgänge ankommender Trailer und Ladungseinheiten am Terminal durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen effizienter zu gestalten. Besonders im Winter, bei widrigen Witterungsbedingungen wie Kälte und Regen, erweist sich die manuelle Eingabe auf Tablets, wie sie im bisherigen Checking-Prozess verwendet wird, als herausfordernd. Eine sprachbasierte Erkennung von Schäden, bei der ein Checker Schäden per Zuruf an die Applikation meldet, verspricht hierbei eine deutliche Erleichterung der Betriebsabläufe und eine Verbesserung der Effizienz.

Abbildung 22 dargestellte Check-Übersicht der App unterteilt die Aspekte Nummer Typ Ort Reise Zug Status und Disponent. Ladungseinheiten werden entsprechend ihrer Art in Container, Trailer, Mafi und Kassetten unterteilt und ihrem jeweiligen Check-Status zugeordnet. Die möglichen Status sind „offen“, „gesperrt“, „freigegeben“ oder „geplant“. Über entsprechende Suchfelder kann gezielt nach Zügen oder Trailernummern gesucht werden. Sobald eine Einheit geprüft werden soll, öffnet sich in der Applikation ein sogenannter „Checking Wizard“, ein geführter Checkprozess, der den Nutzer Schritt für Schritt durch gezielte Fragen leitet.

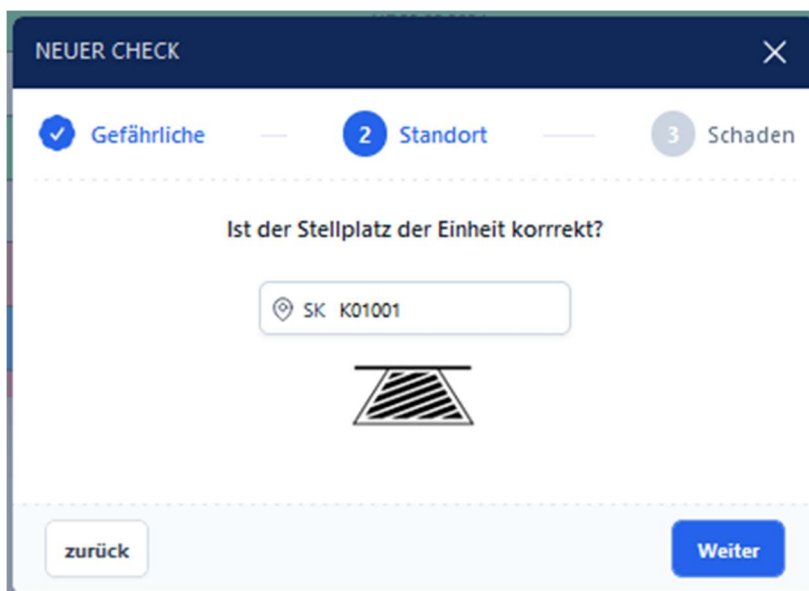
Der Checkprozess startet mit der Frage nach Gefahrgutladung, siehe Abbildung 23. Nach der Beantwortung der Gefahrgut-Frage folgt die Bestätigung, dass sich die Einheit auf dem richtigen Stellplatz befindet. Dabei wird der zugewiesene Stellplatz aus dem Logistiksystem übernommen und in einem Textfeld zur eventuellen Bearbeitung bereitgestellt (Abbildung 24).

Abbildung 93: Der Check Wizzard Frage 1



The screenshot shows a window titled 'NEUER CHECK' with a close button in the top right. Below the title bar, there are three steps: '1 Gefährliche' (highlighted in blue), '2 Standort', and '3 Schaden'. The main question is 'Führt die Ladeeinheit Gefahrgüter?'. Below the question are two large buttons: a green one labeled 'NEIN' and a red one labeled 'JA', both featuring a hazard symbol. At the bottom, there are 'Cancel' and 'Weiter' buttons.

Abbildung 24: Der Check Wizzard Frage 1



The screenshot shows the same 'NEUER CHECK' window, now at step 2. Step 1 'Gefährliche' is now checked with a blue checkmark. The question is 'Ist der Stellplatz der Einheit korrekt?'. Below the question is a text input field containing 'SK K01001' with a location pin icon on the left. Below the input field is a trapezoidal icon representing a loading platform. At the bottom, there are 'zurück' and 'Weiter' buttons.

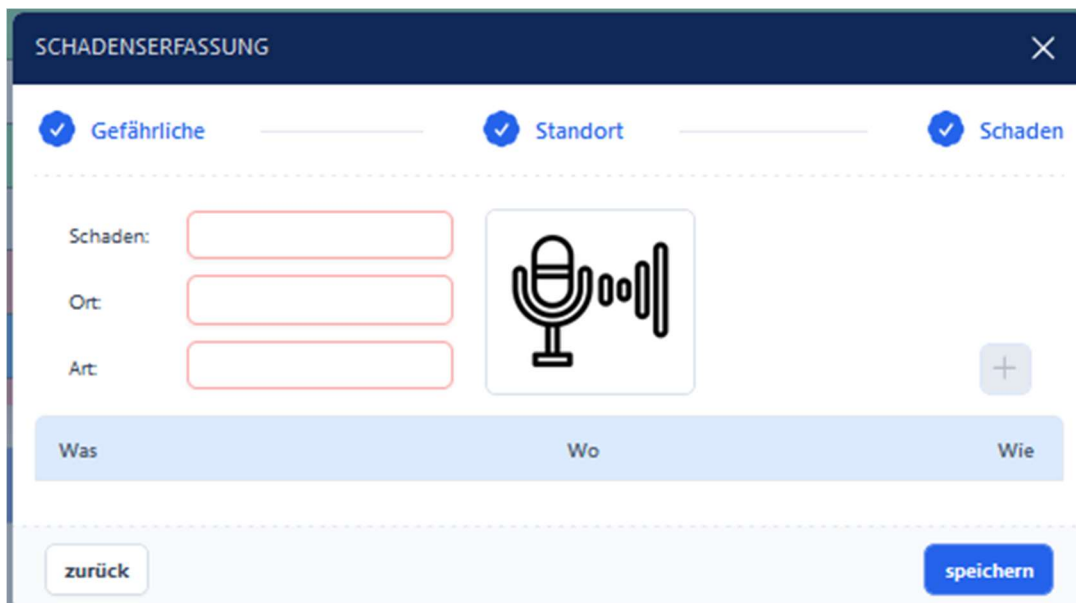
Nach der Beantwortung der Gefahrgut- und Stellplatzfrage folgt der eigentliche Check-Prozess zur Erfassung von Transportschäden (siehe Abbildung 25). Schäden können entweder durch direkte Eingabe der Parameter wie Schaden, Ort und Art erfasst werden oder künftig über Sprachsteuerung an die Applikation übermittelt werden. Durch Drücken des Mikrofon-Buttons (siehe Abbildung 26) können Schäden entweder über eine wortbasierte Beschreibung oder durch die Ansage der entsprechenden Schadensnummer gemeldet werden.

Abbildung 105: Der Check Wizzard Frage 3



The screenshot shows a window titled "NEUER CHECK" with a close button in the top right. Below the title bar, there are three progress indicators: "Gefährliche" (checked), "Standort" (checked), and "3 Schaden" (highlighted in a blue circle). The main question is "Ist die Einheit beschädigt?". Below the question are two large buttons: a green one labeled "NEIN" with a truck icon, and a red one labeled "JA" with a truck icon. At the bottom, there are two buttons: "zurück" on the left and "Weiter" on the right.

Abbildung 26: Check Wizzard Schadenserfassung



The screenshot shows a window titled "SCHADENSERFASSUNG" with a close button in the top right. Below the title bar, there are three progress indicators: "Gefährliche" (checked), "Standort" (checked), and "Schaden" (checked). The form contains three input fields labeled "Schaden:", "Ort:", and "Art:". To the right of these fields is a microphone icon with sound waves. Below the input fields is a light blue bar with three tabs: "Was", "Wo", and "Wie". At the bottom, there are two buttons: "zurück" on the left and "speichern" on the right.

Die Schäden werden in ihrer Erfassung in drei Kategorien unterteilt: Art des Schadens (Abbildung 27) Ort des Schadens (Abbildung 28) und Schadensart (Abbildung 29).

Abbildung 27: Check Wizzard Schadenserfassung Kategorie des Schadens



Abbildung 28: Check Wizzard Ort des Schadens

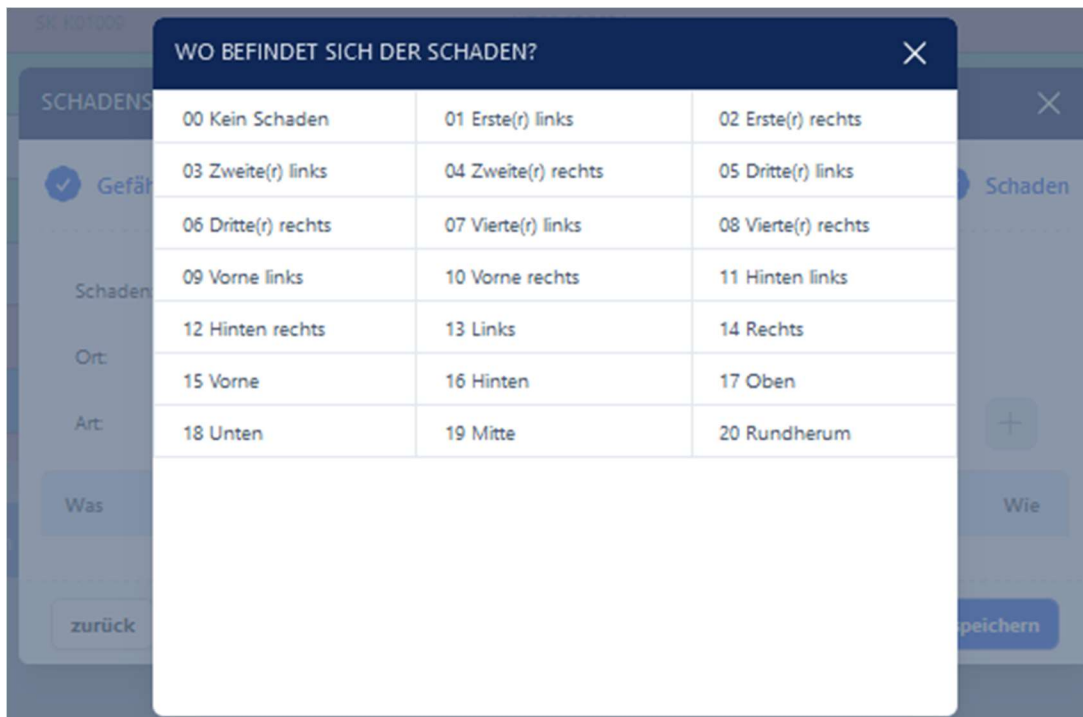


Abbildung 29: Check Wizzard Art des Schadens



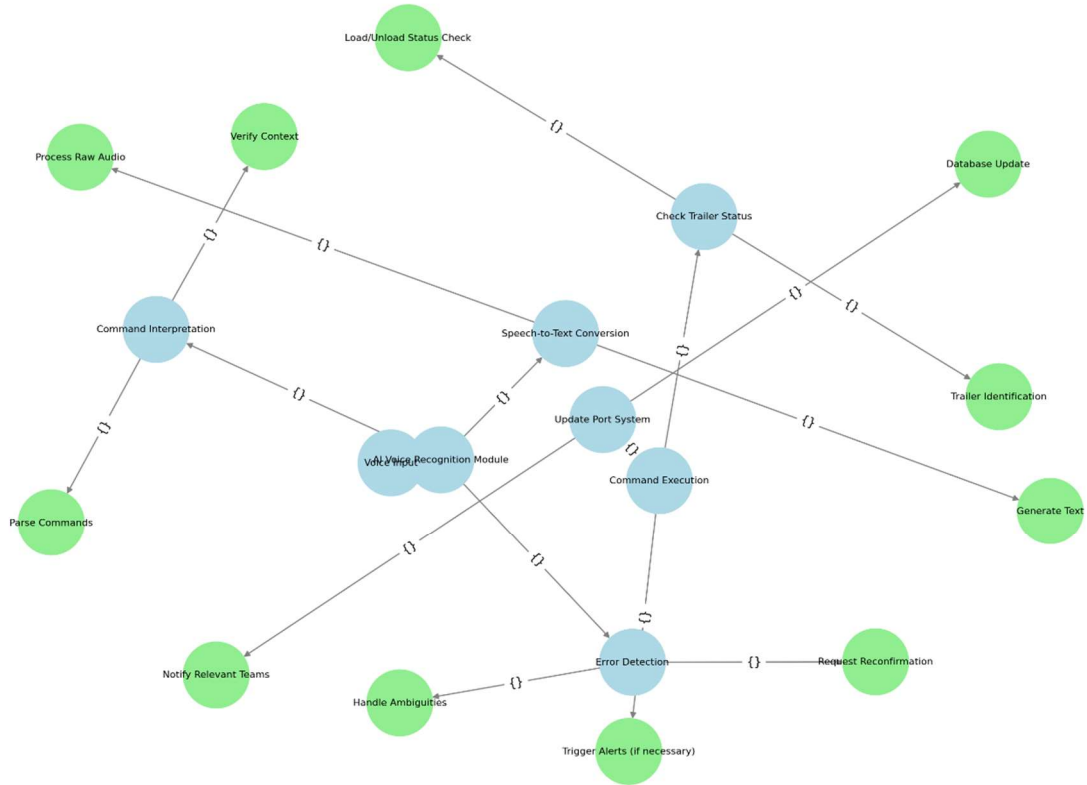
Abbildung 30 zeigt den Ablauf eines KI-gestützten Spracherkennungssystems, das speziell für die Überprüfung von Trailern in Hafenoperationen entwickelt wurde. Der Prozess beginnt mit der Sprachanalyse, bei der Spracheingaben in das System eingespeist und durch ein Spracherkennungsmodul verarbeitet werden. Dieses Modul umfasst die Sprach-zu-Text-Umwandlung, die Befehlsinterpretation und die Fehlererkennung.

Nach der Sprach-zu-Text-Umwandlung werden die Befehle analysiert und der Kontext überprüft, um sicherzustellen, dass die Eingaben korrekt verstanden wurden. Bei Unklarheiten aktiviert sich die Fehlererkennung, um Ambiguitäten zu klären und gegebenenfalls Rückfragen an den Benutzer zu stellen. Anschließend führt das System den entsprechenden Befehl aus. Dies umfasst die Überprüfung des Trailerstatus (z. B. Identifikation sowie Lade- oder Entladestatus) und die Aktualisierung des Hafensystems durch entsprechende Datenbankänderungen.

Das Diagramm verdeutlicht, wie die verschiedenen Module des Systems nahtlos zusammenarbeiten, um einen effizienten und zuverlässigen Prüfprozess für Trailer sicherzustellen.

Abbildung 30: Schema der KI-basierten Spracherkennung im Checking Vorgang

AI-Based Voice Recognition System for Trailer Checking in Port Operations



3.2 Testphase

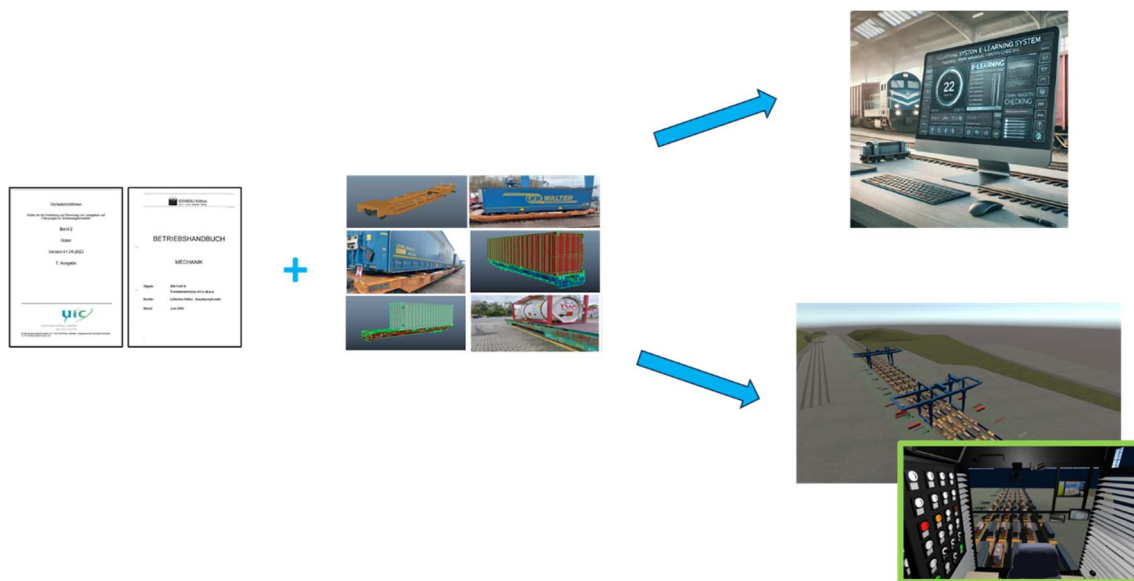
Aufgrund von Zeitknappheit wird der Test der Checker App in das Q1 2025 gelegt.

4 Die Virtuelle Kranausbildung

4.1 Konzeptionsphase

Die Integration von 3D-Modellierungen in klassische Betriebshandbücher und Schulungsinhalte eröffnet neue Möglichkeiten der Wissensvermittlung im Bereich des E-Learnings. Fotos und 3D-Modelle aus dem Betriebsablauf erhöhen den Realismusgrad herkömmlicher Schulungen erheblich und schaffen einen konkreten Bezug zur Hafenanlage. Wie in Abbildung 31 dargestellt, bietet die Kombination aus klassischen Handbüchern, 3D-Modellen und Realfotos aus dem Tagesablauf eine solide Grundlage, Themenschwerpunkte auf moderne Weise über ein E-Learning-System zu vermitteln.

Abbildung 31: Das e-learning Konzept

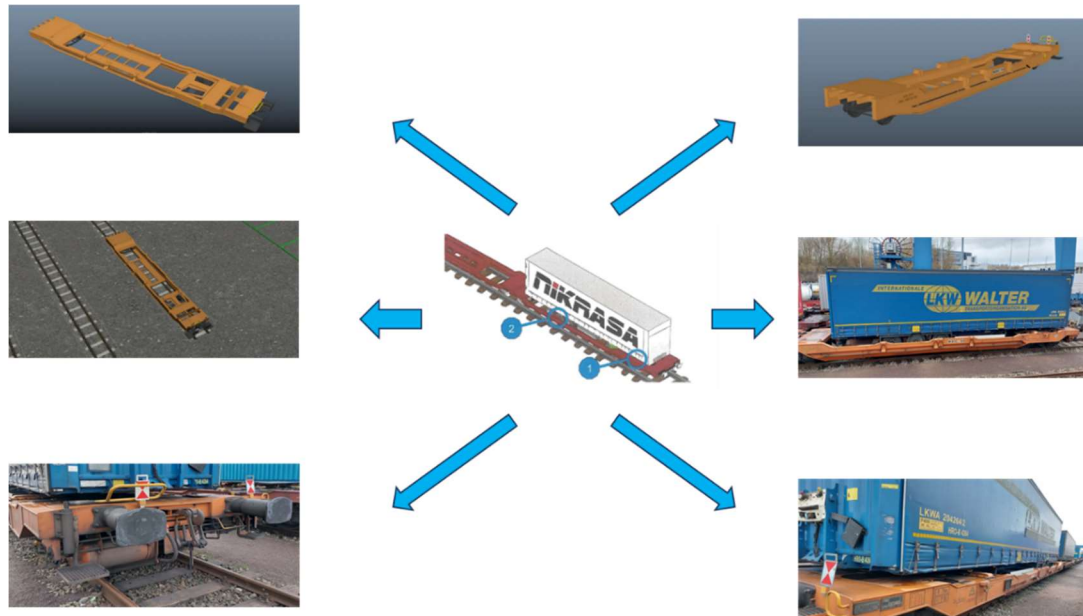


E-Learning bietet im Bereich der Hafen- und Logistikausbildung erhebliche Vorteile, insbesondere durch die Verwendung praxisnaher Beispiele. Lernende können in einer sicheren Umgebung trainieren, wie Kräne effizient bedient und Ladeeinheiten korrekt umgeschlagen werden, um Sicherheit zu gewährleisten. Ebenso unterstützen 3D-Modelle und interaktive Simulationen dabei, komplexe Abläufe, wie die Koordination von Lkw und Zügen am Terminal, realitätsnah darzustellen. Diese Ansätze fördern nicht nur das Verständnis, sondern auch die Fähigkeit, Gelerntes direkt in der Praxis umzusetzen – ein klarer Vorteil gegenüber rein theoretischen Lernmethoden.

Die Verwendung von 3D-Modellen im E-Learning eröffnet zudem weitere Möglichkeiten, insbesondere in der modernen Logistikausbildung. Durch die realistische Darstellung komplexer Szenarien, wie dem Beladen und Prüfen von Güterwagen, können Lernende praxisnahe Erfahrungen sammeln, ohne physisch vor Ort sein zu müssen. 3D-Modelle ermöglichen die detaillierte und interaktive Visualisierung von Prozessen und Abläufen, wodurch das Verständnis für Sicherheitsrichtlinien und Betriebsabläufe wesentlich gestärkt wird. Lerninhalte lassen sich dynamisch und individuell an unterschiedliche Lerngeschwindigkeiten anpassen. Dies steigert nicht nur die Lernmotivation, sondern senkt auch Kosten und Risiken im Vergleich zu herkömmlichen Trainingsmethoden. Die Integration von 3D-Technologien schafft so eine immersive und effiziente Lernumgebung, die Theorie und Praxis optimal verbindet.

Abbildung 32 zeigt exemplarisch, wie der Realismusgrad einer klassischen Schulzeichnung durch den Einsatz von 3D-Modellen oder Fotos aus dem Tagesgeschäft erheblich gesteigert werden kann. Diese verbesserte Schulungsqualität soll neue Mitarbeiter/innen künftig schneller, effizienter und realistischer auf die Anforderungen des Tagesgeschäfts vorbereiten und verspricht einen signifikanten Mehrwert für den Betriebsablauf.

Abbildung 32: Wertsteigerung klassischer Lernzeichnungen durch 3D und Fotos

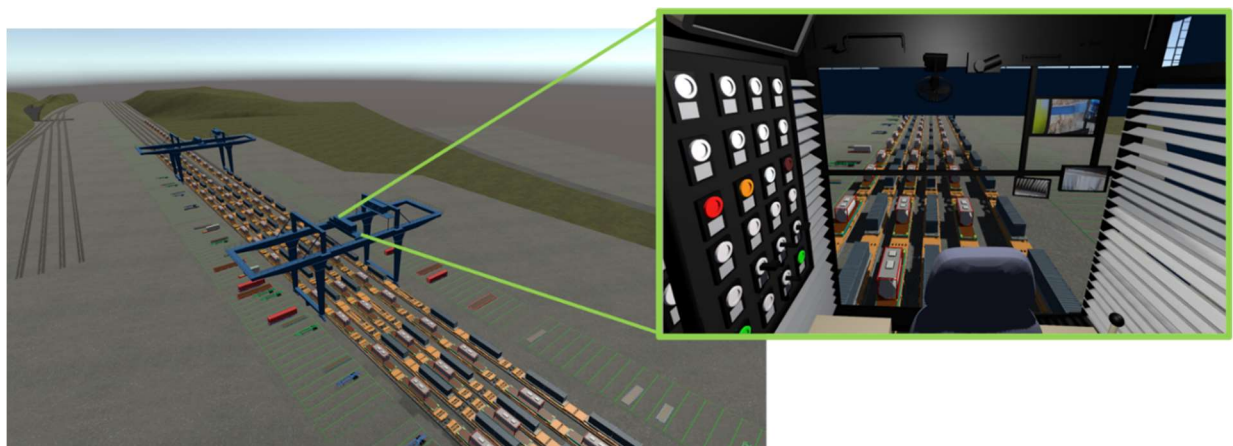


4.2 Realisierungsphase

Um den zukünftigen Auszubildenden der BRG-Krananlagen ein modernes und effizientes Lernen zu ermöglichen, wurde die Innenkabine des Krans in 3D nachgebildet und in den digitalen Zwilling integriert. **Abbildung 33 Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** zeigt den bisherigen Stand und veranschaulicht, wie realgetreu der Blick aus der virtuellen Krankabine dargestellt wird.

Diese Funktion ermöglicht es, Betriebsabläufe nahezu in Echtzeit virtuell aus der Perspektive der Krankabine mitzuverfolgen. Dieser Ansatz stellt eine äußerst moderne Weiterentwicklung der Betriebsausbildung dar und wird in den kommenden Jahren voraussichtlich auf weitere Bereiche ausgeweitet werden.

Abbildung 33: Auszug aus der virtuellen Krankabine



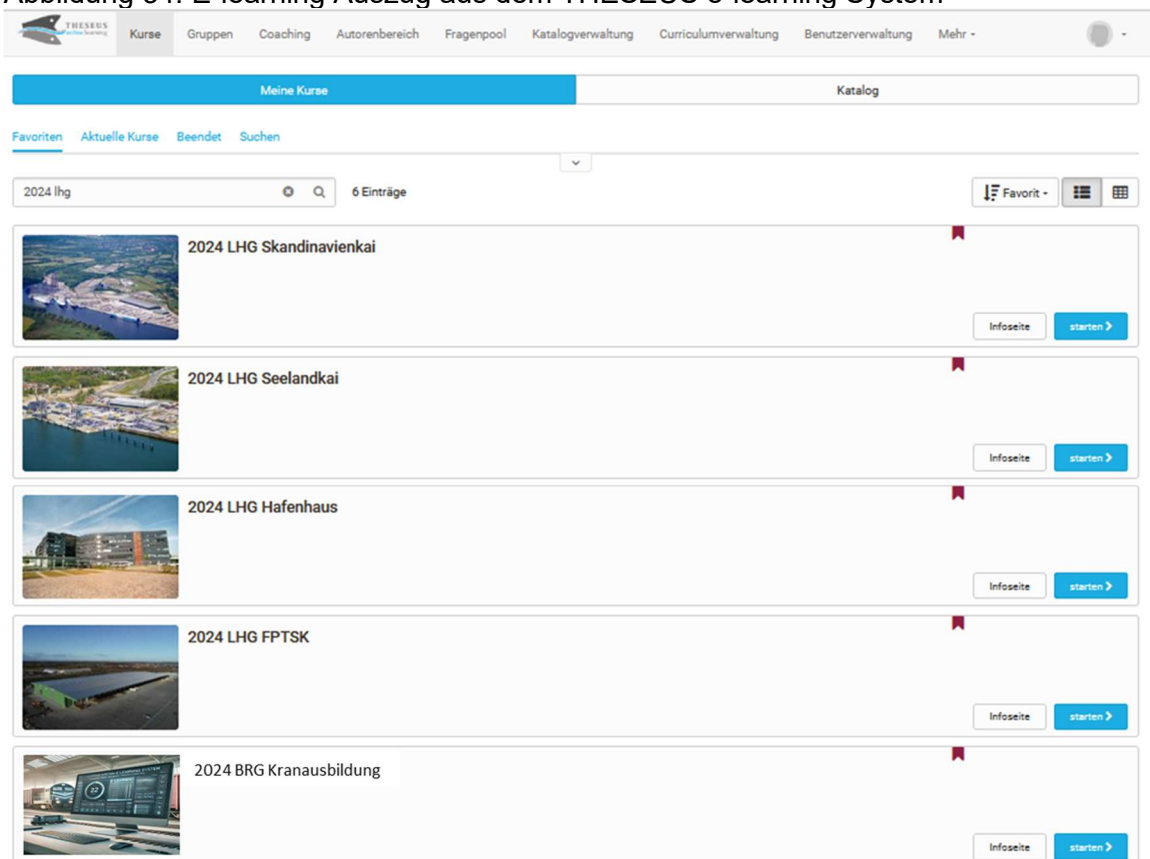
Das Theseus e-Learning System wurde speziell für die Anforderungen von Hafenanlagen und die Schulung ihrer Mitarbeiter entwickelt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der ISPS-

Online-Schulung zur Gefahrenabwehr in Hafenanlagen. Die Schulungsinhalte werden individuell an die spezifischen Bedürfnisse und Gegebenheiten der jeweiligen Hafenanlage angepasst. Mitarbeiter können Schulungen flexibel absolvieren, was den Betriebsablauf weniger stört und gleichzeitig die Produktivität erhöht. Im Vergleich zu traditionellen Präsenzschulungen können durch den Einsatz von e-Learning-Systemen bis zu 75 % der Schulungskosten eingespart werden.

Das System wird ausschließlich in Deutschland betrieben und erfüllt alle Vorgaben des Datenschutzes. Es kann zudem ohne die Verarbeitung personenbezogener Daten genutzt werden, was den Schutz sensibler Informationen gewährleistet. Stein Maritime Consulting stellt sicher, dass die Inhalte maßgeschneidert auf die Anforderungen der jeweiligen Hafenanlage zugeschnitten sind, was die Relevanz und Effektivität der Schulungen weiter steigert.

Das Theseus e-Learning System wurde bereits vor einigen Jahren in Lübeck eingeführt und für das Vorhaben der virtuellen Kranausbildung um einen ersten Schulungsblock erweitert (siehe Abbildung 34). Der Vorteil der Integration neuer Schulungsinhalte in ein bestehendes System liegt in der Vermeidung einer Umgewöhnung der Mitarbeiter, da diese mit dem System bereits vertraut sind.

Abbildung 34: E-learning Auszug aus dem THESEUS e-learning System




Für den ersten Schulungsinhalte wurden folgende Betriebshandbücher als Grundlage genommen:

- ➔ Betriebshandbuch 200-7447-0 Transtainerbrücke (2002)
- ➔ Nicht Kranbare Sattelaufleger verladen anhand der NIKRASA Plattform, Verladebeispiel 009-3308-101-23 (2023)
- ➔ Kodex für die Verladung und Sicherung von Ladegütern auf Fahrzeugen im Schienengüterverkehr, Band 2 (2023)

Wie in Abbildung 35 aufgezeigt, gewinnen klassische Handbuchseiten erheblich an Lehrwert und Verständlichkeit, wenn sie auf einzelne E-Learning-Folien aufgeteilt und mit 3D-Modellen sowie Realfotos ergänzt werden. Es ist nahezu unbestritten, dass sich diese moderne Form der Wissensvermittlung langfristig durchsetzen wird. Das Förderprojekt für das Baltic Rail Gate hat hierfür eine äußerst solide Grundlage geschaffen und entscheidende Fortschritte in der Digitalisierung und Modernisierung der Schulungsinhalte erzielt.

Abbildung 35: Auszüge aus dem modernisierten e-learning

Verladearten



Schüttgut gleichmäßig und kompakt über die Ladefläche verteilen.

1. Verladung bis etwa 10 cm unterhalb der Seitenwandhöhe

1. auch in Wagenmitte
2. Güter, die durch Rumpfstöße oder Fahrensicherung vom Wagen herabfallen können wie Streubierrohrstaub, Geröll, Geröllbruch, Dreh- und Hobelspäne, Profilsägespäne, Rohrzäpfel, Maschinenteile, **Handbohrer bis 10 cm Ø, ...**

2. Verladung etwa bis Seitenwandhöhe

1. auch in Wagenmitte
2. Gepresster Schrott (Pakete), nicht gepresste oder flachgepresste Autos

3. Güter ganzflächig abgedeckt

1. Kammerstühle, Stanzabfälle, Schrott, Zerklebungsmittel aus Haushaltspapier, Bretter und Fliesen bis etwa **15 cm Höhe**, Holzwerkstoffe
1. Abdeckmaterial: Gewebepflanzen oder Kunststoffnetze, wobei die Abdeckung stauffähig und wasserdicht befestigt werden muss.
2. Abdeckmaterial: Wagendecke


4. Verladung mit Schüttkegel


1. Güter, die durch den Fahrwind nicht heruntergeweht werden wie Kies, Kohle, Röhren...

5. Güter im Bereich der Wände bis etwa 15 cm unterhalb der Seitenwandhöhe aufschütten

1. Evtl. abdecken

Länge der Ladung






Länge der Ladung

1. angesprochene Ladelänge am Wagen beachten (z. B.: 12 m).
2. Das Kopfstück des Wagens darf überragt werden.
3. um max. 21 cm bis zu einer Höhe von 2 m über Schienenoberkante (SO) und
4. um max. 41 cm oberhalb 2 m über SO.

gemessen in der Pufferbefestigungsebene

1. bei **Freibleiben eines Raumes über dem Wagenandrill**, gemessen in der Pufferbefestigungsebene 20 cm von der Mitte des Wagenandrills bis in 2 m Höhe.
1. eines **Raumes von 20 cm**, gemessen vom Zughaken nach jeder Seite und nach oben



5. Projektzusammenfassung: Förderprojekt Baltic Future Port

Das Förderprojekt „Baltic Future Port“ verfolgte das Ziel, innovative Technologien wie 5G, digitale Zwillinge und E-Learning in die Hafenlogistik zu integrieren, um betriebliche Abläufe zu optimieren und neue Ansätze in der Ausbildung und Prozesssteuerung zu schaffen. In enger Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und der öffentlichen Hand wurde das Projekt im Zeitraum vom 01.12.2023 bis 30.06.2024 umgesetzt. Zwei Hafenterminalbereiche in Lübeck boten ideale Bedingungen, um die entwickelten Lösungen im Echtbetrieb zu testen und weiterzuentwickeln.

Ein zentraler Bestandteil des Teilprojekts der Baltic Rail Gate (BRG) war die Entwicklung eines digitalen Zwillings für das Intermodalterminal. Im Rahmen der Konzeptionsphase wurde ein hochpräzises 3D-Modell der Hafenanlage erstellt, das die gesamte Infrastruktur, einschließlich Kranbahn, Stellplätzen und Ladungsträgern, realitätsgetreu abbildet. Unterstützt durch LIDAR-Daten der Universität Lübeck konnte ein hoher Realismusgrad erreicht werden. Der digitale Zwilling wurde über ein neu entwickeltes Dashboard mit dem Logistiksystem IHS verknüpft, um Echtzeitdaten zu visualisieren und die betriebliche Effizienz zu steigern.

Ein weiteres Highlight des Projekts war die Entwicklung der Checker Application, einer KI-gestützten Lösung zur Vereinfachung und Automatisierung von Checkprozessen ankommender Ladungseinheiten. Die App ermöglicht eine sprachbasierte Erfassung von Transportschäden und reduziert so manuelle Eingaben, insbesondere bei widrigen Witterungsbedingungen. Durch eine intuitive Benutzerführung bietet die App eine deutliche Entlastung im Tagesgeschäft und unterstützt eine präzise Datenverarbeitung.

Im Bereich der Ausbildung wurde mit der virtuellen Kranausbildung ein moderner Ansatz zur Wissensvermittlung geschaffen. Die Innenkabine eines Containerkrans wurde in 3D nachgebildet und in das E-Learning-System „Theseus“ integriert. Dabei wurde auf die Kombination aus klassischen Handbuchinhalten, realitätsnahen 3D-Modelldarstellungen und Fotos aus dem Betriebsalltag gesetzt, um Schulungsinhalte praxisnah und effizient zu gestalten. Diese neue Lernmethode ermöglicht es Auszubildenden, Betriebsabläufe nahezu in Echtzeit zu simulieren und sicher zu erlernen.

Technologisch zeichnete sich das Projekt durch die Einführung moderner Entwicklungs- und Sicherheitsstandards aus. So wurden APIs zur Datenverknüpfung implementiert, ein modernes Frontend auf Basis von React.js und Tailwind CSS entwickelt sowie Sicherheitslösungen wie Azure AD für Authentifizierung und Certbot für die Zertifikatsverwaltung eingesetzt. Zudem wurde durch den Einsatz von GitLab CI/CD-Pipelines und der Containerisierung mit Docker eine skalierbare und effiziente Entwicklungsumgebung geschaffen.

Das Projekt hat durch die Verbindung von innovativen Technologien und praktischen Anwendungen bedeutende Fortschritte erzielt. Der digitale Zwilling, die Checker Application und die virtuelle Kranausbildung bieten erhebliche Vorteile in den Bereichen Effizienz, Kostenreduktion und Schulungsqualität. Die Ergebnisse werden in akademischen Veröffentlichungen präsentiert, um den Wissenstransfer in Wissenschaft und Industrie zu fördern. In den kommenden Jahren soll das entwickelte Konzept weiter optimiert und auf andere Bereiche ausgeweitet werden, um den technologischen Vorsprung in der Hafenlogistik weiter auszubauen.