

## Allgemeine Daten

Typ	Schlussbericht
Projekt	REAKT-DATA
Teilprojekt	AP 1 – AP 5
Laufzeit des Vorhabens	August 2023 – Juli 2025
Berichtszeitraum	August 2023 – Juli 2025
Abgabezeitraum	30. Oktober 2025
Partner (Förderkennzeichen)	ADDIX GmbH (19F1169A) CAU Kiel (19F1169B)

# Gemeinsamer Sachbericht

## Inhalt

I Allgemeiner Teil – Kurze Darstellung des REAKT Projekte.....	2
1. Aufgabenstellung .....	2
2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde .....	2
3. Planung und Ablauf des Vorhabens .....	3
4. Wissenschaftliche und technische Anknüpfung .....	3
II Spezifischer Teil – Eingehende Darstellung der laut Zuwendungsbescheid geförderten Aktivitäten.....	3
1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	3
AP 1 – Datengrundlagen und KI-gestützte Vorhersagemodelle .....	3
AP 2 – Fahrdatenerfassung touristischer Verkehre .....	3
AP 3 – Sicherheitsrelevante Fahrzeug- und Umgebungsdaten.....	5
AP4 – Analyse der Funknetzstabilität.....	7
AP5 – Bedürfnisse, Informations- und Mobilitätsverhalten von verschiedenen Nutzergruppen .....	9
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	9
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	9
4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	9
5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	10
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	10

# I Allgemeiner Teil – Kurze Darstellung des REAKT Projektes

## 1. Aufgabenstellung

Die Reaktivierung stillgelegter Bahnstrecken mit autonomen On-Demand-Verkehren ist eine Maßnahme zur Entwicklung einer attraktiven, klimafreundlichen Mobilität im ländlichen Raum. Die zuverlässige Erhebung relevanter, teilweise sicherheitskritischer Daten agierender Schienenfahrzeuge sind Voraussetzung zur Entwicklung KI-basierter Vorhersage- und Planungswerkzeuge, um attraktive, personalextensivere, effizientere, planbare verkehrsträgerübergreifende und sichere Mobilitätsketten zu ermöglichen. Ziel der Machbarkeitsstudie ist die Entwicklung eines Datenkonzepts zur Planung und zum Betrieb von autonomen On-Demand Verkehren auf der Schiene und verknüpften Verkehrsträgern. Es wird ermittelt:

- a) welche statischen und dynamischen Daten der Verkehrsträger und der notwendigen Infrastruktur erforderlich sind,
- b) wo man die Daten am Fahrzeug und entlang der Strecke erhebt und
- c) wie die Daten für KI-gestützte Vorhersagemodelle zu Verspätungen und Auslastungen genutzt werden können.

Die Machbarkeitsstudie wird unter Nutzung einer 17 km langen Bahnstrecke (REAKT Reallabor) zwischen Malente-Lütjenburg (Schleswig-Holstein) und dem dortigen Draisinenverkehr in fünf Arbeitspaketen (APs) durchgeführt:

- AP 1: Datengrundlagen und KI-gestützte Vorhersagemodelle,
- AP 2: Fahrdatenerfassung touristischer Verkehre,
- AP 3: Sicherheitsrelevante Fahrzeug- und Umgebungsdaten,
- AP 4: Analyse der Funknetzstabilität,
- AP 5: Bedürfnisse, Informations- und Mobilitätsverhalten von verschiedenen Nutzergruppen.

Teilergebnisse:

- a) Ermittlung erforderlicher Daten und KI-basierten Planungswerkzeugen
- b) Betriebskonzept für autonome On-Demand Verkehre auf der Schiene und
- c) Konzept für ein geeignetes Sensor-/Kommunikationssystem von Schienenfahrzeugen.

Gesamtergebnis: ein Daten- und KI-Modell zur Verknüpfung von Verkehrsträgerinformationen, das in einem nächsten Schritt auf der Strecke Malente-Lütjenburg in einem Demonstrationsvorhaben umgesetzt werden soll und auf vergleichbare Strecken übertragbar ist.

## 2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Der zum 1. Januar 2024 vom Land Schleswig-Holstein angekündigte Ausbau des LoRaWAN-Netzes hat sich verzögert. Die ADDIX GmbH konnte nur in begrenztem Umfang mit eigenen Gateways unterstützen, da insbesondere die externen Access Points erst mit einer Verzögerung von etwa vier bis fünf Monaten bereitgestellt wurden. Trotz dieser Einschränkungen konnte durch temporäre Infrastrukturmaßnahmen die Netzabdeckung verbessert werden.

Im Laufe des Jahres wurden zusätzliche Draisinen in das Projekt eingebunden, was die Erhebung und Analyse von Fahr- und Umgebungsdaten weiter verbessert hat.

Die Personalsituation entwickelte sich erfreulich: Es konnten weitere Mitarbeitende für das Projekt gewonnen werden, wodurch die Bearbeitung der Arbeitspakete effizient fortgesetzt werden konnte.

Zudem wurde der Auftrag zur Nutzerbefragung an das NIT (Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH) vergeben. Die Befragung wurde im weiteren Projektverlauf erfolgreich umgesetzt.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Es fand zwei-wöchentlich ein Regeltermin zum Austausch der Projektstände Online statt an dem meist alle Projektpartner teilnahmen.

### 4. Wissenschaftliche und technische Anknüpfung

Es wurden Gespräche mit verschiedenen Partnern geführt, um Synergien mit angrenzenden Forschungsvorhaben zu identifizieren und eine mögliche Weiterentwicklung der Projektergebnisse sicherzustellen. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde ein Antrag im mFUND-Programm gestellt, der auf die Verwertung der im Projekt REAKT-DATA erarbeiteten Ergebnisse abzielt. Der Antrag trägt den Titel **M-KOMPASS**.

Darüber hinaus wurde die im Projekt analysierte Versuchsstrecke als Grundlage für einen sogenannten **DATI-Piloten** des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ausgewählt. Erkenntnisse und Ergebnisse aus REAKT-DATA sind bereits dort eingeflossen und werden auch in die dort vorgesehene REAKT Wissensplattform eingepflegt und weiterverwendet werden.

## II Spezifischer Teil – Eingehende Darstellung der laut Zuwendungsbescheid geförderten Aktivitäten

### 1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

*(Pflicht laut ANBest-GK und P Kosten)*

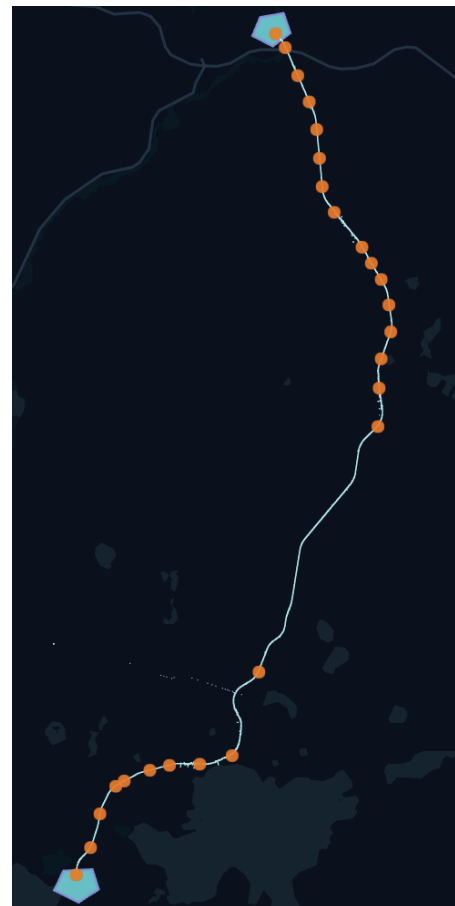
Die Machbarkeitsstudie wird in fünf Arbeitspaketen (APs) durchgeführt.

#### AP 1 – Datengrundlagen und KI-gestützte Vorhersagemodelle

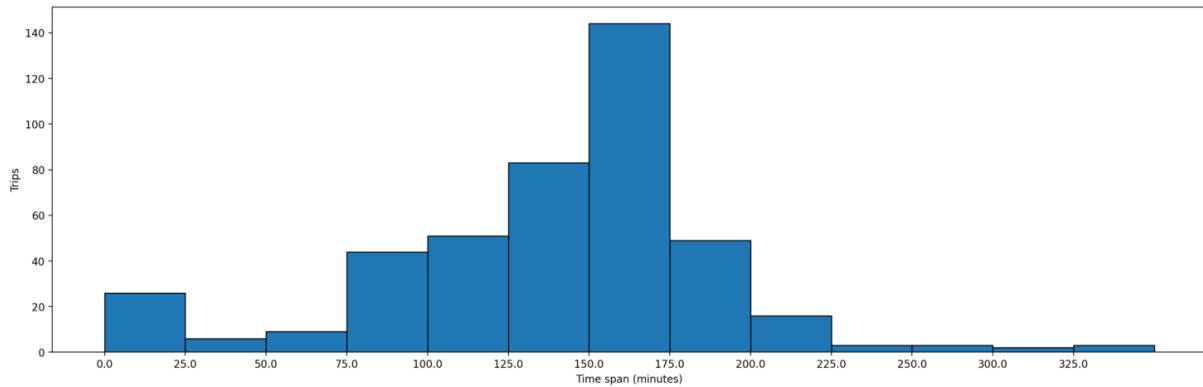
Im Arbeitspaket 1 wurden die geplanten Sensoren erfolgreich installiert. Alle Draisinen erhielten wetterfeste GNSS Tracker.



Die Datenerfassung lief planmäßig. Datenanalysen wurden durchgeführt. Mit Hilfe von Geofences wurden die Fahrten aus den Daten extrahiert.



Die linke Abbildung zeigt eine Fahrt, die in Malente startet und endet. Die rechte Abbildung zeigt eine Fahrt, die in Malente startet und in Lütjenburg endet. Die orangenen Punkte sind die empfangenen Datenpunkte. Die beiden Polygone kennzeichnen die Start- und Endbereiche. Die blaue Linie stellt die gesamte Strecke anhand der gemessenen RTK-Daten dar.



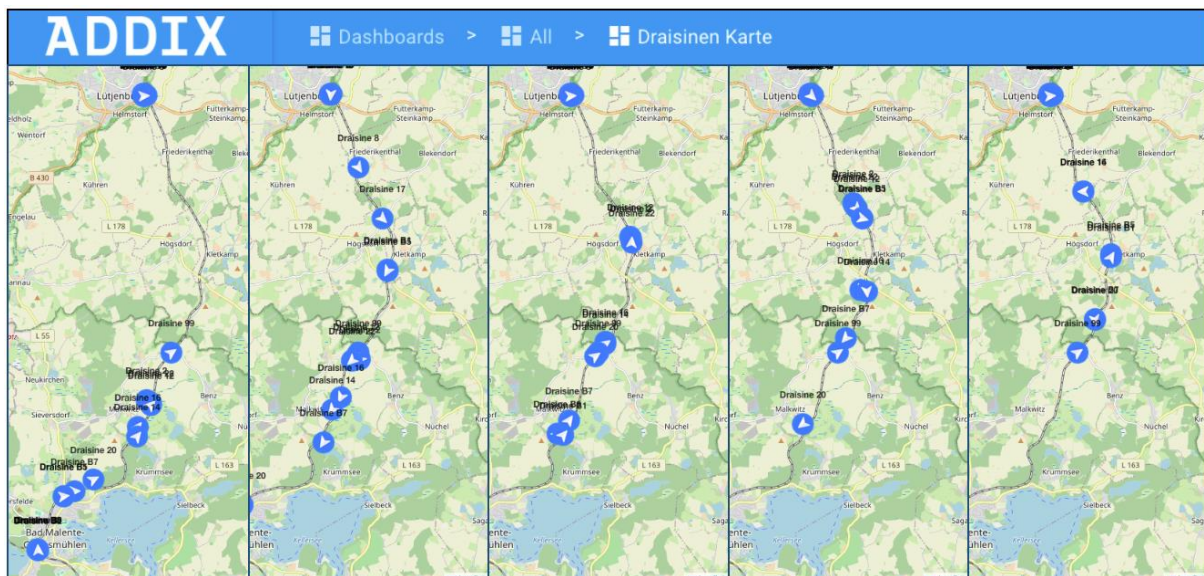
Neben vielen anderen Aspekten wurde die Dauer der einzelner Fahrten untersucht. Die durchschnittliche Dauer einer Fahrt liegt bei ungefähr 139 Minuten. Es existieren sowohl deutlich längere (Maximaldauer: 345 Minuten) als auch deutlich kürzere Fahrten.

Die erfassten Daten bilden die Grundlage für die Entwicklung der KI-gestützten Vorhersagemodelle. Die Erstellung des zugehörigen Konzeptpapiers konnte im Berichtszeitraum abgeschlossen werden.

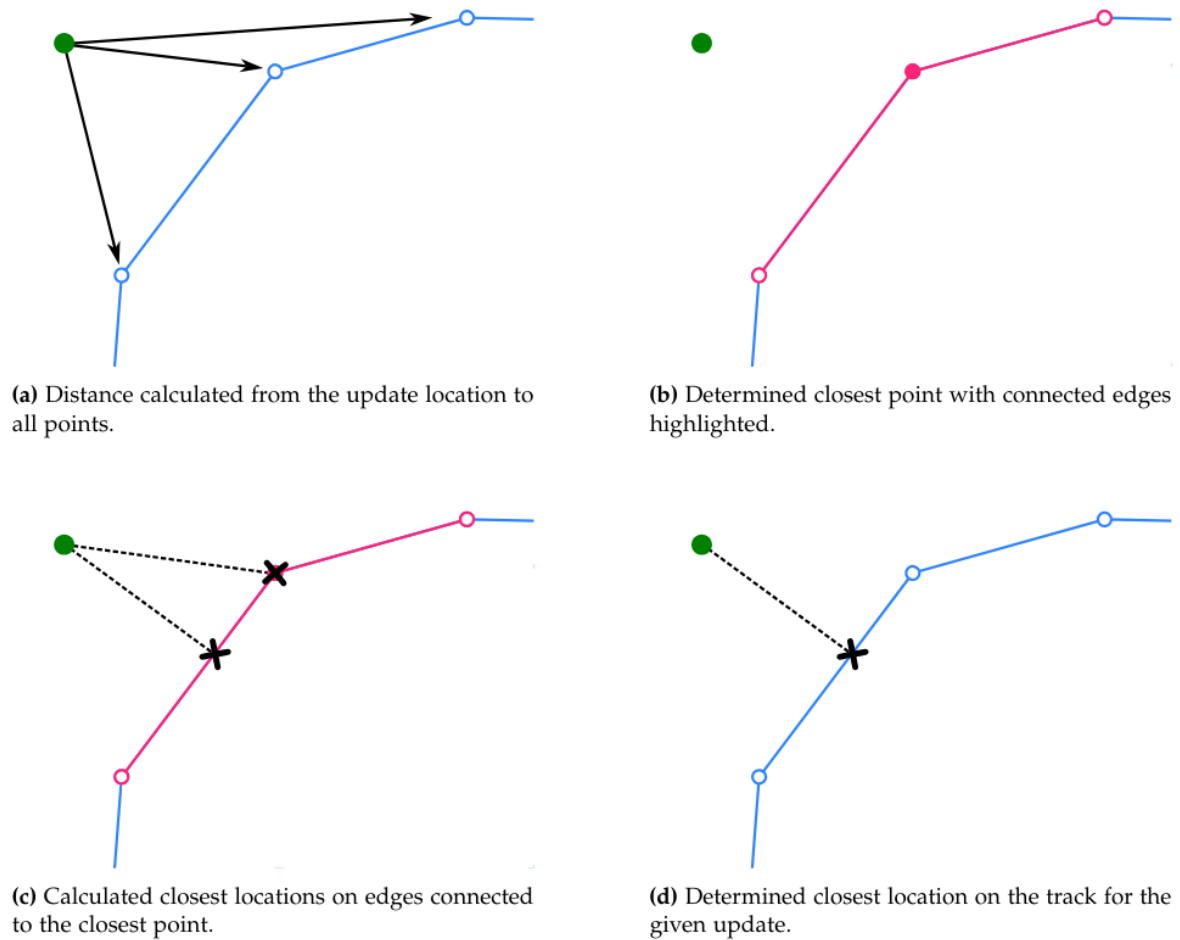
## AP 2 – Fahrdatenerfassung touristischer Verkehre

Die touristischen Verkehre wurden weitgehend vollständig aufgezeichnet. Zur Datenerhebung wurden Sensoren eingesetzt, die Geschwindigkeit, Bewegung und Lage der Fahrzeuge erfassen.

Alle erfassten Daten werden zentral auf der IoT-Plattform **iot.addix.net** gesammelt und verwaltet. Damit steht eine skalierbare Infrastruktur zur Verfügung, über die sowohl mobile als auch streckenbezogene Informationen integriert und analysiert werden können.



Es erfolgte ein Abgleich zwischen den hochpräzisen GPS-RTK-Daten und günstigeren Sensorlösungen. Algorithmen zur Verbesserung und Approximation von Positionsinformationen auf Basis von ungenauer GNSS Daten wurden entwickelt und im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit veröffentlicht.<sup>i</sup>



**Figure 2.1.** Process of determining the nearest point on the track for a given update.

©Finn Evers

Ein erster Algorithmus beschäftigt sich mit der örtlichen Korrektur der Position anhand von hinreichend genauer Kartendaten des Streckenverlaufs (siehe Bild oben). Dabei wird ausgenutzt, dass Schienenfahrzeuge i.d.R. nicht das Gleis verlassen. Da diese approximative Projektion jedoch die eigentliche Abweichung verschleiert (siehe Bilde unten) wurde zudem untersucht, wie durch etablierte Erkenntnissen und Methoden der GPS Fehlerstreuung, sowie zusätzlichen Daten aus dem REAKT DATA Positionsdatensatz, eine genauere Position ermittelt werden kann.

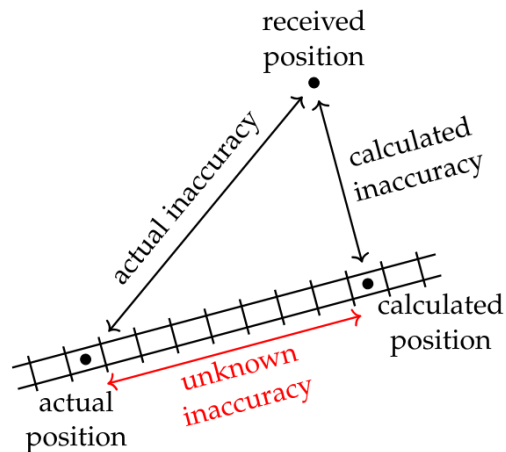


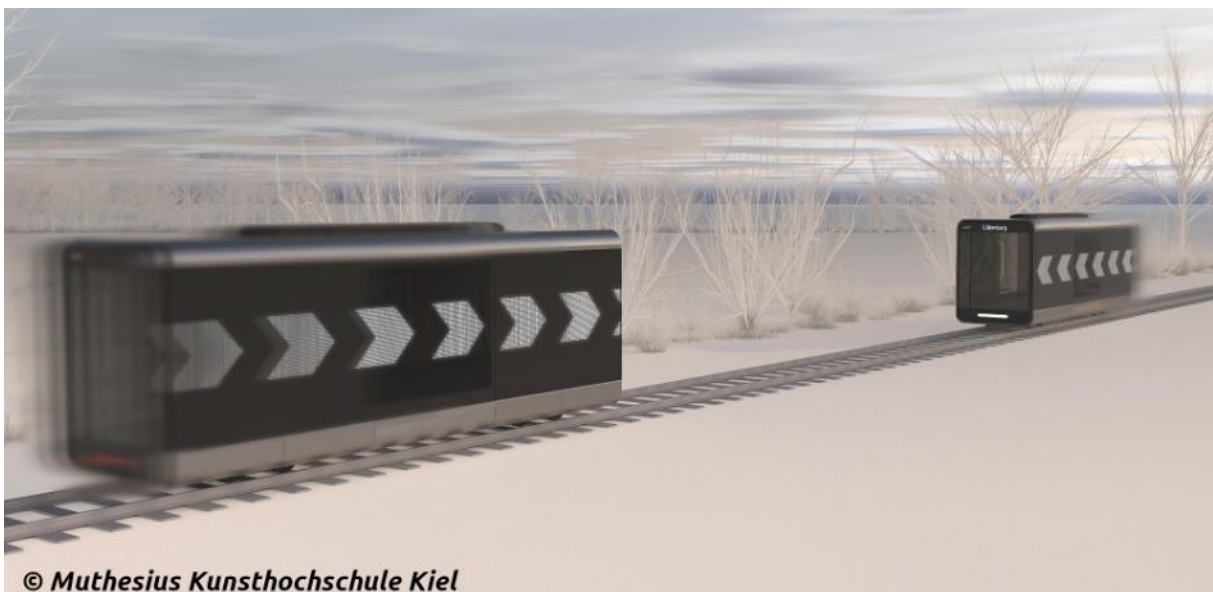
Figure 2.2. Unknown vehicle inaccuracy.

© Finn Evers

Weitere Konzepte dieses Unterfangen umfassen eine approximative Fortschreibung des Bewegungsverhaltens anhand von Geschwindigkeits- und Richtungsdaten, sowie die Einbeziehung historischer (im Rahmen von REAKT DATA gesammelten) Positionsdaten, die Aufschlüsse über Bereiche mit erhöhter Fehlerstreuung erlauben.

### AP 3 – Sicherheitsrelevante Fahrzeug- und Umgebungsdaten

Für das AP3 wurden erste Analysen zur Strecke durchgeführt und Betriebskonzepte diskutiert. Ein Konzeptentwurf sind autonom fahrende on-demand Schienenfahrzeuge, die sich auf offener Strecke begegnen, koppeln, um ein Umsteigen zu ermöglichen, und dann wieder zurückfahren. Dieses innovative Betriebskonzept für den On-Demand-Schienenverkehr, genannt Begegnungsverkehr, wurde auf Basis der Entwürfe der Muthesius Kunsthochschule entwickelt.



© Muthesius Kunsthochschule Kiel

Um die Machbarkeit eines solchen Betriebsmodells zu untersuchen und mit klassischem Zugbetrieb zu vergleichen, wurde eine Simulation entwickelt und im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit veröffentlicht.<sup>ii</sup> Es wurden dabei folgende Betriebsszenarien auf der Strecke Malente-Lütjenburg für ein gesetztes Fahrgastaufkommen verglichen:

- Direkter Pendelbetrieb mit einem Fahrzeug zwischen Malente und Lütjenburg
- Pendelbetrieb mit einem Fahrzeug und zehn zusätzlichen Zwischenhaltepunkten
- On-Demand Verkehr mit einem Fahrzeug und zehn zusätzlichen Zwischenhaltepunkten
- On-Demand Verkehr mit einem Fahrzeug und Zustiegsmöglichkeiten überall an der Strecke
- On-Demand Verkehr mit zwei Fahrzeugen und zehn zusätzlichen Zwischenhaltepunkten
- On-Demand Begegnungs-Verkehr mit zwei Fahrzeugen und Zustiegsmöglichkeiten überall an der Strecke

Der On-Demand Verkehr insbesondere mit mehreren Fahrzeugen zeigte dabei eine deutlich bessere Verfügbarkeit für die Fahrgäste und auch der Begegnungsverkehr erhöhte nochmal die Mitnahmerate im ländlichen Teil zwischen Malente und Lütjenburg, jedoch zu Lasten der Beförderung der Fahrgäste aus den beiden Ballungszentren.

Das nachfolgende Weg-Zeit-Diagramm zeigt die Ergebnisse der Simulation des Begegnungsverkehr-Betriebsmodells.

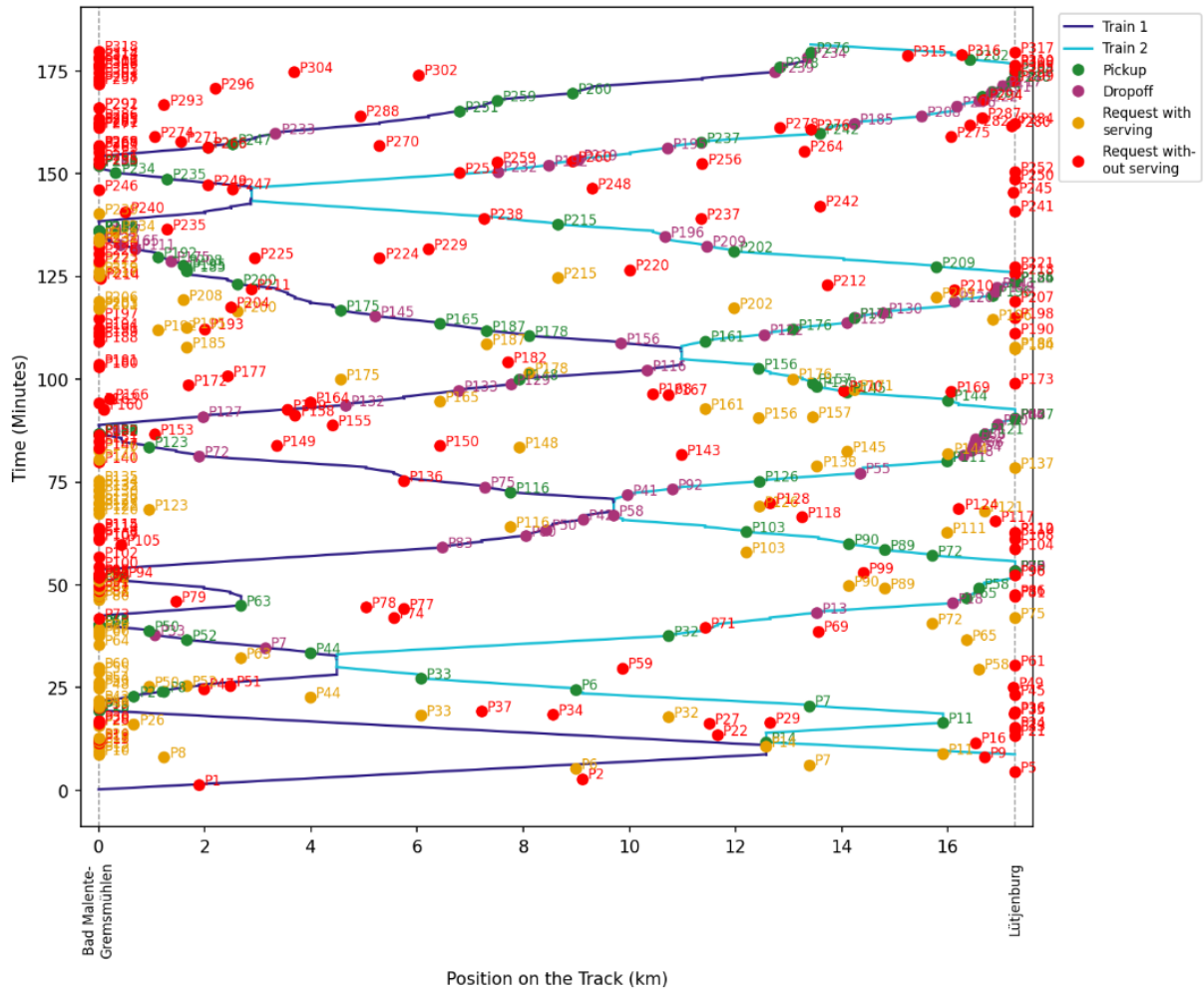


Figure 5.6. Graphical timetable of Scenario 3b (Multi-Vehicle On-Demand (Free Encounters)).

© Sara Rolfs

Weiterhin wurde eine prototypische Sicherheitsanalyse für eine autonome Zugsteuerung unter Berücksichtigung des Begegnungsverkehrs auf offener Strecke durchgeführt. Dabei wurden auf die moderne Technik der Systems Theoretic Process Analysis (STPA) zurückgegriffen. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit veröffentlicht.<sup>iii</sup>

In einer weiteren studentischen Abschlussarbeit<sup>iv</sup> wurde prototypenhaft eine Endnutzer App entwickelt die Zugang zu einem On-Demand Zugverkehrsangebot zwischen Malente und Lütjenburg bietet.



© Nig Rambow

Zur Untersuchung der Machbarkeit eines Digitalen Zwillings im Anwendungsfall der REAKT Bahnstrecke, wurden verschiedene Konzepte prototypisch implementiert und untersucht.

Zur Kommunikation mit Nutzenden wurde eine Webview implementiert, welche direkt in der durch ADDIX aufgebauten Datenplattform einen Sicht auf einen Digitalen Zwilling der Fahrzeuge bereitstellt. Eingeloggte Nutzerinnen und Nutzern können dort ausgewählte Informationen zu den Draisinen sehen.

Ein weiterer Digitaler Zwilling in Kartenform steht als Website zur Verfügung<sup>1</sup> und bietet zudem eine offene Schnittstelle zur Abfrage der aktuellen Positionen.

---

<sup>1</sup> <https://railtrail.rtsys.informatik.uni-kiel.de>

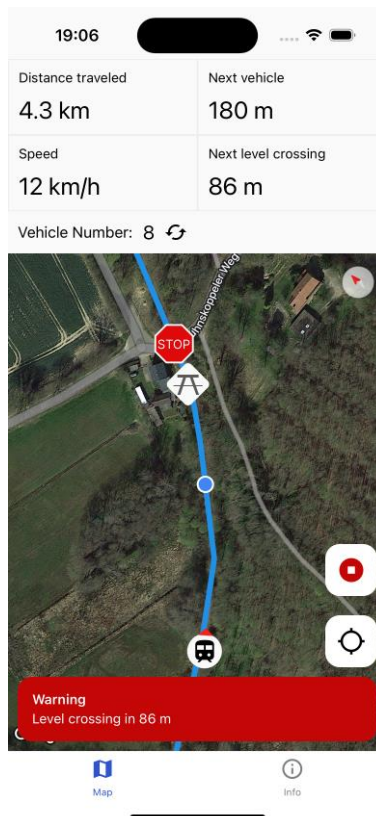


Im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit<sup>v</sup> wurde zudem ein Digitaler Zwilling in einer 3D Umgebung entwickelt. Dieser erlaubt nicht nur die Darstellung der Live-Positionen der Draisinen, sondern auch eine Simulation der Begegnungsverkehrs.



© Kevin Ebsen

Für die Nutzung individuell kontrollierter Draisinen wurde im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit<sup>vi</sup> ein App Konzept entwickelt um Streckeninfrastruktur, Gefahrenstellen und Gegenverkehr an Nutzer der Fahrraddraisinen zu kommunizieren. Diese kann als „Bordcomputer“ bei der Nutzung der Draisinen genutzt werden.



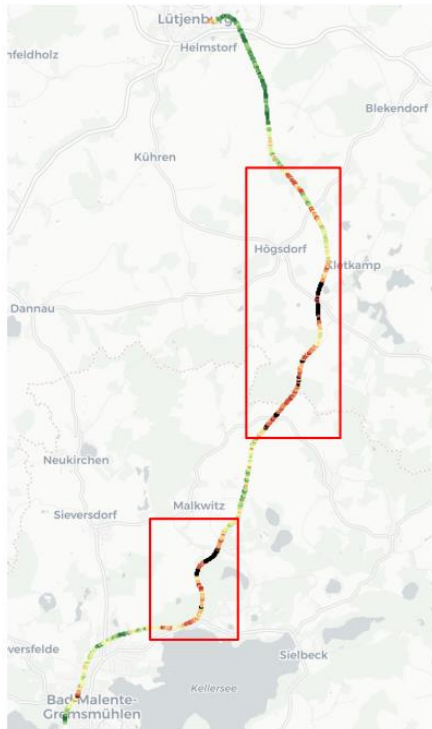
© Jannis Gehrt

#### AP4 – Analyse der Funknetzstabilität

Die Strecke wurde initial in Bezug auf die Funknetzstabilität vermessen. Es wurden das Mobilfunknetz, das LoRaWAN-Netz und das WLAN-Netz betrachtet. Im Jahr 2024 wurde die Strecke erneut vollständig hinsichtlich der Netzverfügbarkeit überprüft, mit einem besonderen Fokus auf das 5G-Netz. Die Messergebnisse zeigen eine insgesamt deutlich verbesserte Verfügbarkeit zum Jahresende im Vergleich zum Vorjahr. Dies ist auf infrastrukturelle Verbesserungen sowie den ergänzenden temporären Einsatz von Gateways zurückzuführen.

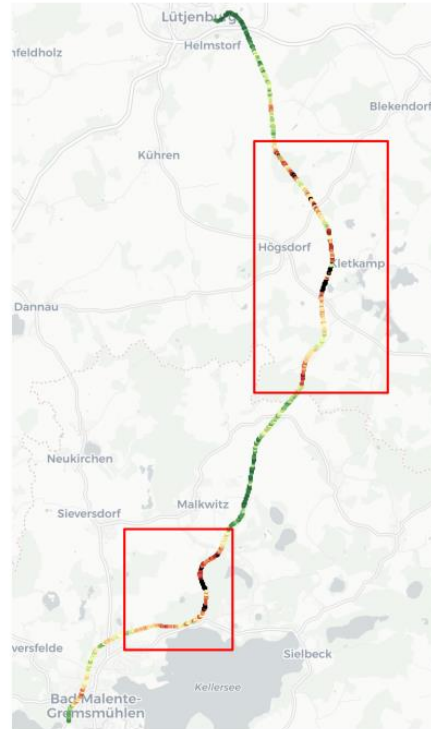
Die Erkennung von Funklöchern entlang der Strecke erfolgt mittlerweile zuverlässig. Die erhobenen Daten werden genutzt, um potenziell kritische Abschnitte zu identifizieren. Während erste Konzepte zur Vorhersage von Mobilfunkzellenwechseln und Funklöchern vorliegen, konzentriert sich die aktuelle Umsetzung verstärkt auf die LoRaWAN-Infrastruktur.

WLAN-Technologie wurde hinsichtlich einer flächendeckenden Versorgung als weniger geeignet bewertet, insbesondere aufgrund der begrenzten Reichweite im ländlichen Raum. Die Ergebnisse dieser Analysen werden sowohl zur Optimierung der Kommunikationsinfrastruktur entlang der Strecke als auch zur späteren Integration in Betriebs- und Sicherheitskonzepte genutzt.



Netzqualität - Betreiber 1

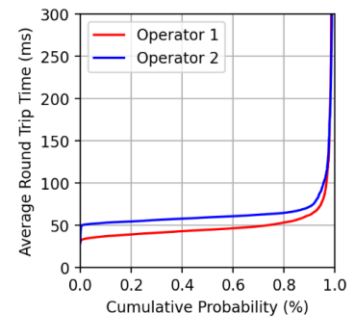
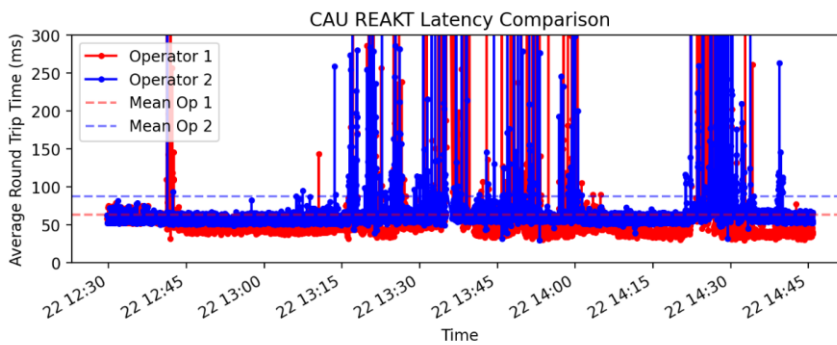
5G Abdeckung - 60%  
4G+5G Abdeckung - 97,7%



Netzqualität - Betreiber 2

5G Abdeckung - 65%  
4G+5G Abdeckung - 99,8%

Ergebnisse der Mobilfunk Messung auf der Strecke. Überprüft wurden zwei separate Netz-Anbieter mit jeweils 4G und 5G. Die rot markierten Bereiche zeigen schlechte 5G Netzqualität im ländlichen Gebieten. Die Netzwerklatenzmessung zeigt gleichermaßen erhöhte Latenzen in Bereichen mit schlechter Abdeckung.



#### Latenz

Durchschnitt:

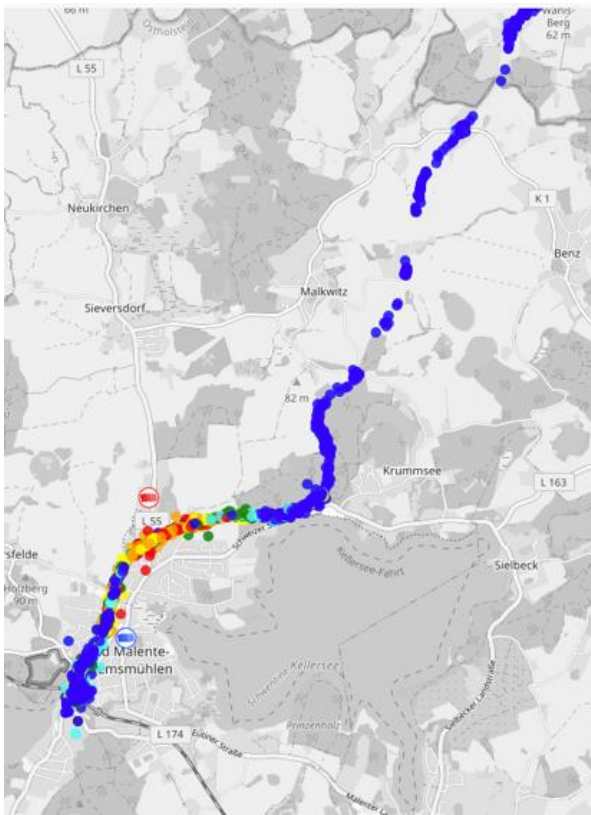
- Betreiber 1 – 63 ms Latenz
- Betreiber 2 – 87 ms Latenz
- Unter 100 ms Gesamtlatenz

Worst case

- 98% der Zeit unter 300 ms Latenz
- 99.7% der Zeit unter 1 s Latenz

Die LoRaWAN Abdeckung hat sich seit Mitte 2024 verbessert. Die meisten Funklöcher wurden geschlossen, sodass nun durchgängiger Daten erfasst werden können. Dies ermöglicht uns in 2025 genauerer Bewegungsprofile zu erfassen.

Die Netzqualität ist jedoch außerhalb der Städte Malente und Lütjenburg immer noch von schlechter Qualität (blaue statt rote Punkte auf der Karte unten), was weiterhin einen gewissen Datenverlust zur Folge haben wird.



Links: LoRaWAN Messdaten von Anfang 2024 mit deutlich erkennbaren Funklöchern. Rechts: Messdaten von Ende 2024 der gesamten Strecke mit nur einem Funkloch unterhalb von Malkwitz.

Mithilfe des Anwendungsfalls einer Zugfernsteuerung wurde die Funknetzstabilität analysiert hinsichtlich der Machbarkeit eingeordnet. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit veröffentlicht.<sup>vii</sup> Sie zeigen, dass eine flächendeckende 5G Mobilfunk Bereitstellung hinreichende Qualität bieten würde.

#### AP5 – Bedürfnisse, Informations- und Mobilitätsverhalten von verschiedenen Nutzergruppen

Im Rahmen der Unterbeauftragung an das „Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH (NIT)“ wurden touristische Analysen der Region mit Fokus auf Mobilitätsangebote erstellt, sowie eine Befragung der Gäste der Draisinenvermietung durchgeführt.

#### *Desk Research zu Mobilitätsangeboten und zum Tourismus in der Untersuchungsregion entlang der Bahnstrecke Malente-Lütjenburg*

In einer Desk Research Untersuchung wurden speziell die Mobilitätsangebote entlang der Bahnstrecke Malente-Lütjenburg betrachtet. Dazu gehören Zug, Bus, Anruflienfahrten des ÖPNV und Fahrrad- und Wanderwege. Die Untersuchung zeigte, dass die Region großes Potenzial für die Vernetzung verschiedener Anbieter bietet. Dazu wurden auf Basis von Bevölkerungszahlen und touristischer Nachfrage eine Einschätzung der potentiellen Nachfrage von Alltagsmobilität und touristische Mobilität erstellt.

### *Befragung der Draisinenfahrgäste auf der Bahnstrecke Malente-Lütjenburg*

Weithin wurde eine Umfrage zur Nutzung der Draisinen sowie der Zufriedenheit und Verbesserungsmöglichkeiten des Nahverkehrs erstellt und durchgeführt. Es wurden Ergebnisse von 584 Befragung im Zeitraum März bis Oktober 2024 ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen unter anderem:

- Verkehrsmittelnutzung bei der Anreise zur Draisinenfahrt: Die breite Mehrheit kommt mit dem Auto. Unflexibilität und lange Anreisezeit sprechen gegen Bus- und Bahnreise.
- Ticket für die Bus- oder Bahnfahrt: Mehr als die Hälfte der ÖV-Fahrgäste nutzen für die Anreise nach Malente oder Lütjenburg das Deutschlandticket.
- Smartphone oder Tablet-PC bei der Fahrt: Fast alle Teilnehmer hatten ein Gerät dabei, Ältere weniger oft. Die Mehrheit der Befragten ist mit aktiviertem GPS unterwegs.
- Erwünschte Informationen während der Draisinenfahrt: Interesse vor allem an Kilometerangaben, Natur und Geschwindigkeit.

### *Fragestellung des Arbeitspakets*

1. Mit welchen Mobilitätsangeboten lassen sich individuelle Schienenverkehrsmittel sinnvoll kombinieren, welche dieser Optionen werden aktuell genutzt und welche Kombinationen kommen für die Nutzerinnen zukünftig in Frage?

Aktuell vorhandene Optionen:

- Pkw-Anreise mit Parkmöglichkeit am Bahnhof Bad Malente-Gremsmühlen bzw. auf dem Aldi-Parkplatz in Lütjenburg
- Bahnreise bis Bad Malente-Gremsmühlen
- Busreise bis Lütjenburg oder Bad Malente-Gremsmühlen Bahnhof
- Anreise mit dem Fahrrad/E-Bike
- Fußläufige Erreichbarkeit aus den Ortszentren von Malente und Lütjenburg

Zukünftige Kombinationen mit Potenzial:

- On-Demand-Shuttles flexible Zubringer für die „erste/letzte Meile“ (z. B. zwischen Unterkünften, Sehenswürdigkeiten und Start-/Endpunkten des individuellen Schienenverkehrs).
- Kombi-Touren mit eigenem oder gemietetem Fahrrad/E-Bike
- Anbindung an touristische Angebote wie Schifffahrten, Bootsverleihe, Wanderwege oder ÖPNV-Haltestellen.
- Digitale Buchungsplattformen, die verschiedene Verkehrsmittel kombinieren (z. B. Schienenverkehr + Bus + Mietrad).
- Integration in touristische Routen und regional relevante Wanderwege durch Kombitickets oder Mobilitäts-Apps (inkl. Echtzeitinfos).

2. Welche zielgruppenspezifischen Verhaltensweisen und Informationsbedürfnisse von Einheimischen und Touristen sind bei der Entwicklung von individuellen On-Demand-Angeboten auf der Schiene zu berücksichtigen?

Einheimische:

- Nutzen Verkehrsmittel v. a. zweckgebunden (Arbeit, Einkauf, Arzt).
- Legen Wert auf Verlässlichkeit, Taktung und schnelle Information bei Störungen.
- Sind ortskundig und häufig zeitlich wenig flexibel

Touristen:

- Bedürfnis nach Orientierung: intuitive Navigation, Karten, Geschwindigkeit, Empfehlungen in Echtzeit.
- Suchen Erlebnisqualität, d. h. einfache Buchung, Kombiangebote, Empfehlungen.
- Zeigen hohe Offenheit gegenüber digitaler Informationsvermittlung – bevorzugt mobil und visuell.
- Orientierung durch Wegweiser, Infotafeln, Apps oder Gastgeberkommunikation wichtig

Übergreifende Anforderungen an individuellen Schienenverkehr:

- Vertrauensbildung durch lokale Verankerung (z. B. Tourist-Infos, Gastgeber).
- Persönliche Ansprache, Beschilderung und digitale Ergänzung, nicht Ersatz.
- Buchungs- und Informationsplattformen müssen sowohl mobil als auch stationär verfügbar sein (z. B. per App, Touchscreen-Terminal, Infolyer).

Für ein zukünftiges On-Demand-Schieneverkehrsangebot bedeutet das, dass es nur dann angenommen wird, wenn es einfach, flexibel und transparent kommuniziert wird. Vor allem bei Einheimischen ist die Anbindung an den ÖPNV entscheidend, während bei Touristen das Erlebnis, Komfort und Orientierung im Vordergrund stehen. Eine zielgruppenspezifische Mobilitätsentwicklung rund um individuellen Schienenverkehr muss also multimodal gedacht werden – mit besonderem Fokus auf digitale Zugänglichkeit, regionale Einbindung und soziale Akzeptanz.

### *Fazit*

Die erfolgreiche Einführung individueller, digital unterstützter Schienenverkehrsmittel im ländlichen Raum hängt von der Verknüpfung mit ergänzenden Mobilitätsangeboten, der Zielgruppenorientierung und der sozialen wie technischen Einbettung ab. Die daraus abgeleiteten Empfehlungen für verschiedene Stakeholder bilden ein Fundament für ein nutzerfreundliches, akzeptiertes und zukunftsfähiges Mobilitätskonzept auf der Strecke Malente–Lütjenburg, das sich auch auf andere Regionen im ländlichen Raum übertragen lässt.

## 2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position 837 – Personal – Alle Aufwände waren für Personaleinsatz vorgesehen.

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

*(Pflicht laut ANBest-GK und P Kosten)*

Diese Machbarkeitsstudie wurde mit maximaler Effizienz und unter Hinzuziehung vieler vorhandener Daten kostengünstig durchgeführt.

## 4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Im Projekt REAKT-DATA wurden verschiedene Datensätze erhoben, verarbeitet und analysiert, insbesondere GNSS-Positionsdaten, Funknetzqualitätsdaten, Nutzungsdaten sowie daraus abgeleitete Modelle und Simulationsergebnisse.

Ein Teil der im Projekt entstandenen Daten und Metadaten wurde über offene Plattformen (u. a. TTN Mapper sowie Smart Data Models) veröffentlicht und damit Dritten zur weiteren Nutzung bereitgestellt. Diese Daten leisten einen Beitrag zur Verbesserung der Datengrundlagen für Mobilitätsanalysen und unterstützen die Weiterentwicklung datenbasierter Anwendungen im Mobilitätskontext.

Eine vollständige Bereitstellung sämtlicher im Projekt erhobenen Daten in der Mobilithek erfolgte nicht. Gründe hierfür sind insbesondere:

- Schutz von Geschäftsmodellen und geplanten kommerziellen Anwendungen der entwickelten Plattformkomponenten,
- sicherheitsrelevante Aspekte im Zusammenhang mit Infrastruktur- und Kommunikationsdaten,
- bestehende Rechte und Abstimmungen mit Projektpartnern sowie Dritten,
- sowie die teilweise fehlende Eignung der Rohdaten für eine unmittelbare Nachnutzung ohne umfangreiche Aufbereitung.

Die Veröffentlichung weiterer geeigneter Datensätze sowie Metadaten in der Mobilithek wird im Rahmen von Folgeprojekten und Produktentwicklungen weiterhin geprüft.

#### A) Wissenschaftlich

Die gesammelten Daten und Analysemodelle wurden bereits in der Lehre genutzt und haben zu einer Reihe studentischen Abschlussarbeiten geführt, siehe Abschnitt II.1.

Wie erwartet waren die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie eher vorläufiger Natur und damit für eine übliche wissenschaftliche Publikation eher ungeeignet. Teile wurden aber auf der auf der Bahntechnikkonferenz in Kiel im Februar 2025 einem Fachpublikum vorgestellt.

#### B) Datenbezogen

Die Daten wurden erfolgreich in die LoRaWAN Netzabdeckungsplattform TTN Mapper<sup>2</sup> integriert und werden automatisch aktualisiert. Eine weitere Nutzung für andere Plattformen, wie im Verwertungsplans angelegt, ist möglich.

#### C) Übertragbarkeit, Ergebnistransfer und Verbreitung

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie können im Sinne der Verwertungsplans als Bestandteil der Verbundforschungsinitiative REAKT weiter genutzt werden. Sie bieten eine Datengrundlagen, mit der Individualverkehr auf der Schiene und On-Demand-Verkehr auf der Schiene umgesetzt werden kann. Insbesondere Teilprojekte des mFUND-Projekts erlauben einen Transfer zu Fragestellungen der Leit- und Sicherungstechnik und der Betriebsmodelle sowie die verkehrs- und raumplanerischen Grundlagen.

---

<sup>2</sup> <https://ttnmapper.org/experiments/?experiment=reakt-data-all-vehicles&startdate=2023-08-1&enddate=2025-07-30&gateways=off&lines=off&points=on>

#### D) Betriebswirtschaftlich/Unternehmerisch

Die im Projekt REAKT-DATA erzielten Ergebnisse bilden für die ADDIX GmbH eine wichtige Grundlage zur Erweiterung des bestehenden Portfolios im Bereich digitaler Kommunikations- und IoT-Infrastrukturen für Bahn und Mobilität.

Die im Rahmen des Projekts entwickelte Datenplattform, die erprobten Sensor- und Kommunikationskomponenten (LoRaWAN, 5G) sowie die erhobenen Referenzdaten zu Netzabdeckung, Datenqualität und Mobilitätsverhalten schaffen die Basis für zukünftige Produkte und Dienstleistungen im Bereich Rail-IoT, Remote Monitoring und vernetzte Mobilitätsdienste.

Zeitliche Verwertungsperspektive:

Kurzfristig (2025–2026): Überführung der Ergebnisse in Demonstrations- und Folgeprojekte (z. B. REAKT-DATI, M-KOMPASS) sowie Weiterentwicklung der bestehenden IoT-Plattform.

Mittelfristig (2026–2028): Kommerzialisierung der Plattformkomponenten als Bestandteil des ADDIX-Portfolios für Bahn-, Hafen- und Smart-City-Anwendungen.

Langfristig (ab 2028): Etablierung skalierbarer datenbasierter Services (z. B. Digital Twin, Monitoring, KI-gestützte Prognosen) für Infrastrukturbetreiber und öffentliche Auftraggeber.

Die Ergebnisse werden in mehrere unternehmerische Aktivitäten einfließen:

- Weiterentwicklung der ADDIX IoT-Plattform für den Einsatz im Bahn-, Hafen- und Verkehrsbereich (Integration von Sensorik, Funkmessung, Datenanalyse).
- Angebote an Kommunen und Infrastrukturbetreiber zur Ausleuchtung, Analyse und Optimierung von Funk- und Kommunikationsnetzen entlang von Bahnstrecken und Verkehrsachsen.
- Kommerzielle Nutzung des Reallabors Malente–Lütjenburg als Demonstrations- und Testumgebung für Kundenprojekte im Bereich autonomer oder fernsteuerbarer Fahrzeuge.
- Kooperationen mit Herstellern und Betreibern, um die entwickelten Datenmodelle und Schnittstellen in Betriebs- und Sicherheitskonzepte zu überführen.

Integration in europäische Dateninitiativen:

Die im Projekt entwickelten Datenmodelle und Plattformansätze basieren auf offenen Standards (u. a. FIWARE, NGSI-LD) und sind anschlussfähig an europäische Datenräume. Eine Integration in Initiativen wie GAIA-X und den Mobility Data Space wird aktiv verfolgt, um Interoperabilität, Skalierbarkeit und internationale Verwertung zu ermöglichen.

Übertragbarkeit der Ergebnisse:

Die im Projekt entwickelte Methodik ist nicht auf den Schienenverkehr beschränkt. Sie ist grundsätzlich übertragbar auf:

maritime Anwendungen (z. B. Hafenlogistik, Fähren, Hafenbahnen),  
urbane Mobilitätsräume (Smart City, multimodale Verkehrssysteme),  
sowie weitere Infrastrukturbereiche mit vergleichbaren Anforderungen an Kommunikation, Sensorik und Datenintegration.

Durch diese Anschlussaktivitäten ergeben sich mittel- bis langfristig betriebswirtschaftliche Vorteile:

- Senkung von Entwicklungs- und Betriebskosten durch Wiederverwendung der im Projekt geschaffenen Infrastruktur,
- Erschließung neuer Kundengruppen im Bahn-, Hafen- und Verkehrssektor,
- Stärkung der Position von ADDIX als Anbieter innovativer Kommunikationslösungen im Bereich „Smart Mobility“.

Insgesamt bietet das Projekt damit eine tragfähige Grundlage für künftige Geschäftsentwicklungen, insbesondere im Umfeld öffentlicher, touristischer sowie industrieller Mobilitätslösungen, bei denen vernetzte Infrastruktur, KI-gestützte Datenanalyse und Kommunikationssicherheit eine zentrale Rolle spielen.

## 5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keine neuen Erkenntnisse. Keine Änderung zum Antrag.

## 6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Eine Präsentation der Zwischenergebnisse wurde im Februar 2025 auf der Bahntechnikkonferenz in Kiel durchgeführt.

Wie zuvor in Abschnitt II-1 beschrieben, wurden eine Reihe der wissenschaftlichen Teillösungen und Ergebnisse im Rahmen von studentischen Abschlussarbeiten veröffentlicht.

---

<sup>i</sup> Finn Evers, Projecting Irregular Vehicle Positions on Tracks, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2024

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/fie-bt.pdf>

<sup>ii</sup> Sara Rolfs, Analysis of Train Operation Concepts for Single-Track Railways, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2025

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/sro-bt.pdf>

<sup>iii</sup> Rasmus Janssen, An Autonomous Train Controller with Risk Analysis using System-Theoretic Process Analysis, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2025

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/raj-bt.pdf>

<sup>iv</sup> Nig Rambow, An End-User App for On-Demand Train Service, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2025

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/nra-bt.pdf>

<sup>v</sup> Kevin Ebsen, A Digital Twin for Single-Track Transfer Traffic, Master's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2025

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/keb-mt.pdf>

<sup>vi</sup> Jannis Gehrt, Digitalization of Individual Railway Transport with a Cross-Platform App, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2023

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/jge-bt.pdf>

<sup>vii</sup> Simon Jürgensen, Remote Control for Rail Vehicles, Bachelor's Thesis, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2025

<https://rtsys.informatik.uni-kiel.de/~biblio/downloads/theses/sij-bt.pdf>