

Schlussbericht



- Verbundvorhaben:** Unbeschwert urban unterwegs
- Teilvorhaben:** Unbeschwert urban unterwegs (U-hoch-3) im Schienenverkehr
Softwareentwicklung und -Integration für Belegungszustand in Echtzeit und Prognose für Besetztgrad & Mehrzweckflächenbelegung
- Förderkennzeichen:** 16SV8242
- Projektlaufzeit:** 01.06.2019 bis 31.05.2023,
zuwendungsneutral verlängert bis 30.11.2023
- Autoren:** Dominic Warzok
Thomas Tessmann
Hannes Hameister
- INIT Innovative Informatikanwendungen
in Transport-, Verkehrs- und Leitsystemen GmbH
- Käppelestrasse 4-10
76131 Karlsruhe
Germany
- Datum:** 31.05.2024

Inhaltsverzeichnis

I	Kurzdarstellung.....	3
1	Aufgabenstellung	3
2	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand.....	3
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
II	Eingehende Darstellung	7
1	Erzielte Ergebnisse	7
1.1	Anforderungen und Rahmenbedingungen.....	7
1.2	Benutzungsschnittstellen.....	7
1.3	Prognosemodul.....	8
1.4	Veröffentlichung der Prognose.....	12
1.5	Mehrzweckflächenprognose.....	12
1.6	VDV 435.....	12
2	Voraussichtlicher Nutzen	13
3	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	13
4	Veröffentlichungen	13
4.1	Studentische Arbeiten	13
4.2	Tagungsbeiträge.....	13
4.3	Zeitschriften	13
4.4	Weitere Publikationen	13

I Kurzdarstellung

1 Aufgabenstellung

Ein häufig genanntes Hindernis für die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) ist die Sorge vor überfüllten Verkehrsmitteln und belegten Mehrzweckbereichen. Dies stellt insbesondere für mobilitätseingeschränkte Menschen ein gravierendes Problem dar. Die Befürchtung, dass die Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs überfüllt sein könnten, führt bei vielen Menschen zu einer Zurückhaltung bei der Nutzung dieser Verkehrsmittel. Die daraus resultierende Unbehaglichkeit und Unsicherheit können zu einer Verringerung der Nutzung des ÖPNV führen. Eine potenzielle Lösung könnte in einer Erhöhung der Taktfrequenz der Verkehrsmittel bestehen, um eine bessere Verteilung der Fahrgastkapazität zu erreichen. Des Weiteren könnte eine verbesserte Kommunikation über die aktuelle Auslastung der Verkehrsmittel dazu beitragen, dass die Fahrgäste sich besser informiert fühlen und überfüllte Verkehrsmittel vermeiden.

Für mobilitätseingeschränkte Menschen, Eltern mit Kinderwagen oder Reisende mit Gepäck ist es erforderlich, dass ausreichend Platz im ÖPNV zur Verfügung steht. Barrieren wie enge Einstiegsbereiche, fehlende Rampen oder unzureichende Sitzplatzkapazitäten können die Nutzung für diese Gruppen erschweren. Die Bereitstellung von Echtzeit- und Prognosedaten über die Auslastung von Bussen, Straßenbahnen und Zügen ermöglicht es den Fahrgästen, frühzeitig zu erkennen, wie voll die Verkehrsmittel sein werden, und ihre Reiseentscheidungen entsprechend zu treffen. Die Auslastungsdaten können mittels mobiler Anwendungen sowie digitaler Fahrgastinformationsanzeigen an den Haltestellen an die Fahrgäste kommuniziert werden. Auf diese Weise können Fahrgäste informierte Entscheidungen treffen und überfüllte Verkehrsmittel vermeiden oder ohne Sorgen niedrig ausgelastete Verkehrsmittel benutzen. Zudem bietet sich bei der Prognose der Einsatz von KI an, um Auslastungstrends zu analysieren. Dies ermöglicht Verkehrsunternehmen eine optimierte Reaktion auf Nachfrageschwankungen.

Im Rahmen des Projekts „U-hoch-3“ bestand die Zielsetzung darin, Möglichkeiten zu eruieren, die dazu beitragen, Nutzungsbarrieren zu reduzieren oder gar zu überwinden. Die Erzeugung und Bereitstellung von Informationen zum aktuellen sowie prognostizierten Belegungszustand sowie die Möglichkeit für Fahrgäste, auf verschiedenen Kanälen die Belegung von Mehrzweckflächen in Bahnen der KVG darzustellen bzw. für aktuelle und zukünftige Fahrten zu prognostizieren, stellten die Hauptaufgaben für INIT in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern dar.

2 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Die fortschreitende Digitalisierung stellt Verkehrsbetriebe vor neue Herausforderungen. Um den gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden, müssen sie ihre Effektivität, Leistungsstärke und Serviceorientierung steigern und zeitgemäße Mobilitätsangebote schaffen, die den modernen Erwartungen der Kunden entsprechen. Die Integration neuer Anbieter in die Mobilitätsangebote der Region sowie das erfolgreiche Agieren als Mobilitätsbroker stellen dabei wesentliche Herausforderungen dar. Als führender Anbieter von integrierten Planungs-, Dispositions-, Telematik- und Ticketing Lösungen für Busse und

Schlussbericht 16SV8242

Bahnen unterstützt die INIT Innovative Informatikanwendungen in Transport-, Verkehrs- und Leitsystemen GmbH seit mehr als 40 Jahren Verkehrsbetriebe dabei, den öffentlichen Personenverkehr attraktiver, leistungsfähiger und effizienter zu gestalten. Die integrierten Lösungen ermöglichen Verkehrsunternehmen die Erfüllung aller Anforderungen wie Planung, Optimierung und Einsatzsteuerung von Bussen und Straßenbahnen sowie die Bereitstellung von Echtzeitinformationen auf verschiedenen Kanälen. Zudem können Verkehrsunternehmen durch den Aufbau einer Mobilitätsplattform ihre Rolle als zentraler Mobilitätsanbieter in der Region stärken. Durch die Implementierung offener und standardisierter Schnittstellen kann eine reibungslose Integration von Drittanwendungen gewährleistet werden.

Intermodale Auskunftssysteme nutzen eine Vielzahl an Technologien, um nahtlose Reiseketten von Tür zu Tür zu planen und dabei verschiedene Verkehrsmittel wie Bahn, Bus, Tram und Fahrrad zu kombinieren. Die Systeme sammeln Daten aus verschiedenen Quellen, darunter Wetterdaten, Verkehrsinformationen, Nutzungsdaten sowie Pünktlichkeitsinformationen von Verkehrsmitteln. Die Zusammenführung und Analyse dieser Daten erlaubt die Erstellung fundierter Empfehlungen für die optimale Reiseroute. Die Zugänglichkeit vieler Auskunftssysteme erfolgt über Plattformen oder mobile Apps. Die Oberfläche ist intuitiv gestaltet, sodass Nutzer Reiseoptionen komfortabel vergleichen und buchen können.

Ein Beispiel hierfür ist die NVV-Mobil-App, welche Verbindungen aller Verkehrsmittel der KVG anzeigt. Die App bietet dem Nutzer Informationen zum Fahrtverlauf, einschließlich Rückmeldungen zur aktuellen Pünktlichkeit sowie ungeplanten Ereignissen wie Fahrtausfällen oder Baustellen. Dennoch bleibt das Potenzial der Informationen zum aktuellen sowie prognostizierten Belegungszustand der Fahrzeuge bzw. der Mehrzweckflächen hinter ihren Möglichkeiten zurück. Der Umstand, dass insbesondere Menschen mit Mobilitätseinschränkungen hiervon betroffen sind, macht eine Verbesserung der Situation erforderlich.

Projekte wie U-hoch-3 zielen darauf ab, den Komfort der Fahrgäste zu erhöhen, indem sie die Belegung der Fahrzeuge vorhersagen und somit die Möglichkeit schaffen, spontane Lieferungen von Alltags- oder Einkaufsgepäck durch den ÖPNV zu ermöglichen.

Die Nutzung zeitgemäßer Technologien wie Apps, Internetseiten sowie Social Media ermöglicht eine einfache und zeitnahe Information der Fahrgäste. Die Nutzung klassischer Anzeigesysteme bleibt trotz der neuen Möglichkeiten weiterhin relevant. Die Fahrgäste profitieren von Informationen über Umleitungen, Alternativverbindungen sowie Abfahrtszeitprognosen, deren Zuverlässigkeit durch den Einsatz von KI noch einmal deutlich erhöht wird. Ebenso können Umsteigeinformationen in Echtzeit an Bord von Bus und Bahn einen Mehrwert bieten. Die Berechnung verlässlicher Abfahrtsinformationen erfolgt auf der Grundlage präziser Ortungsinformationen, des Fahrplans, der aktuellen Verkehrslage, eingeleiteter dispositiver Maßnahmen, ausgeklügelter Prognosen sowie künstlicher Intelligenz. Bei der Prognose werden zudem künftige Effekte, die sich aus einer Störung ergeben berücksichtigt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass den Fahrgästen auch im Störfall zuverlässige Echtzeitinformationen zur Verfügung stehen.

Die Information über die Auslastung von Bussen und Bahnen bietet den Fahrgästen die Möglichkeit, stark frequentierte Verkehrsmittel zu vermeiden. Die Bereitstellung der

Schlussbericht 16SV8242

Informationen in den Kanälen der Fahrgastinformation ermöglicht es Verkehrsunternehmen, eine gleichmäßigere Verteilung der Fahrgäste zu erreichen, wodurch sich der Reisekomfort erhöhen lässt.

Das im Rahmen des Projekts U-hoch-3 von der Universität Kassel entwickelte Prognose-Modul ermittelt die zu erwartende Auslastung der Fahrzeuge an den Haltestellen. Zur Erstellung der Auslastungsprognose werden sowohl Echtzeit-Fahrgastzählungen als auch historische Daten über das typische Ein- und Ausstiegsverhalten herangezogen.

In Bahnsystemen lässt sich diese Information auch auf einzelne Wagenabschnitte herunterbrechen. Sie kann genutzt werden, um wartende Fahrgäste auf den Bahnsteigen über geeignete Anzeigesysteme gleichmäßiger zu verteilen, indem sie dazu ermutigt werden, in weniger ausgelastete Zugteile einzusteigen. Neben der Beeinflussung des Fahrgastverhaltens besteht die Möglichkeit, durch ein Intermodal Transport Control System (ITCS) auch direkt steuernd einzugreifen. Das System ist in der Lage, die Leitstelle des Verkehrsbetriebs zu warnen, sobald der Besetzungsgrad eines Fahrzeugs einen zuvor festgelegten Schwellenwert überschreitet. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, mittels des ITCS geeignete dispositive Maßnahmen zu ergreifen.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das U-hoch-3 Forschungsvorhaben gliedert sich in insgesamt neun Arbeitspakete (AP100 bis AP900). Diese umfassen mehrere Teilpakete, von denen einige bis zu sechs Unterbereiche umfassen. Zu Beginn erfolgte eine detaillierte Untersuchung der verschiedenen Anforderungen und Rahmenbedingungen des Forschungsprojekts in der Arbeitsgruppe AP500. Die Arbeitspakete AP300 bis AP600 widmeten sich der Klärung der benötigten Schnittstellen, der Durchführung von Laboruntersuchungen sowie der Untersuchung der einzelnen Forschungsfelder Anschlusssicherung, Belegungszustand und Lieferdienst. Des Weiteren ist in den Arbeitspaketen AP700 bis AP900 die Durchführung eines Feldtests sowie die Auswertung und Empfehlung aus diesem Forschungsprojekt vorgesehen. Die übergreifende Koordination der einzelnen Forschungsfelder sowie das Projektmanagement sind im Arbeitspaket AP100 festgelegt und werden von der Universität Kassel betreut. Die Laufzeit des Forschungsprojekts wurde auf 48 Monate festgelegt.

Während des Projektverlaufs traten erhebliche Verzögerungen auf, die bis zum Projektende nicht aufgeholt werden konnten. Insbesondere die technische Umsetzung der notwendigen Komponenten für die Projektbausteine "Auslastungsprognose von Mehrzweckflächen" und "Anschlusssicherung" konnte bis zum Projektende nicht abgeschlossen werden. Daher war es im Projektzeitraum nicht möglich, für beide Dienste einen Feldtest durchzuführen und die damit verbundene Evaluation vorzunehmen. Dennoch konnten für Teilaspekte des Projekts Feldtests erfolgreich durchgeführt werden. Zusätzlich wurden die Auswirkungen einer Personenbelegungsprognose evaluiert.

Die Projektpartner sind einstimmig der Meinung, dass die fortgeschrittenen Entwicklungen der digitalen Dienste auch nach Projektende weiter umgesetzt werden sollten. Die Umsetzung im Feldtest wird kontinuierlich evaluiert und die eingehenden Daten und Ergebnisse werden gemeinsam mit den Projektpartnern in geeigneter Form veröffentlicht. Auf dieser Grundlage bauen die bereits erarbeiteten Fortschritte aus dem Projektzeitraum die essenzielle Basis für die vollständige Umsetzung aller digitalen Dienste.

4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben der kontinuierlichen Zusammenarbeit mit den Konsortial-, bzw. Projektpartnern wurde im U-hoch-3 Projekt auch mit den Firmen iris-GmbH infrared & intelligent sensors, LUMINO Licht Elektronik GmbH und Hacon Ingenieurgesellschaft mbH zusammengearbeitet. Innerhalb der Arbeitsgruppe des VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen) zum Thema Standards und Schnittstellen zu den Themengebieten Personenzählung und Besetzgrade im ÖPNV erfolgte eine Zusammenarbeit der Projektpartner INIT und IVU mit Partnern von anderen Softwareherstellern, Verkehrsunternehmen und dem VDV. Weiterhin führten wir im Rahmen des U-hoch-3 Projektes Expertengespräche mit Fachleuten aus Verkehrsverbänden, Verkehrsunternehmen und dem VDV durch um die technische Übertragbarkeit der Dienste zu bewerten.

Um die Zählqualität und Objekterkennung auf den Mehrzweckflächen weiter steigern zu können, hat die INIT eine Sensorlösung der Firma Incoretex evaluiert. Durch die Erkennung von Objekten über ihren „Fußabdruck“ mittels einer Sensorik unter dem Bodenbelag im Fahrzeug hat man sich noch genauere Ergebnisse der bei der Objekterkennung (Rollstuhl, Rollator, Kinderwagen, Fahrrad etc.), bzw. der Belegung von Mehrzweckflächen erhofft. Incoretex bietet ganzheitliche Sensorlösungen zur Digitalisierung von Oberflächen als Technologieplattform an. Die modulare Incoretex-Technologieplattform besteht aus ultradünnen, hochauflösenden, flexiblen und konfektionierbaren Drucksensoren, einer miniaturisierten Auswertelektronik sowie einer auf künstlicher Intelligenz basierenden Analyse- und Auswertungssoftware.

Aufgrund der zu dem Zeitpunkt noch verfügbaren Projektlaufzeit und der für den Einbau der Komponenten in Fahrzeuge im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) notwendigen Sicherheitsbescheinigungen, bzw. Zertifizierungen konnte dieser Ansatz wegen der Laufzeiten solcher Zertifizierungen leider nicht weiterverfolgt werden.

II Eingehende Darstellung

1 Erzielte Ergebnisse

1.1 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Rahmen des U-hoch-3 Projektes wurden erstmals Zählraten in Echtzeit aus dem Fahrzeug in die Hintergrundsysteme übertragen. Auch hier wurden die Daten dann in Echtzeit weiterverarbeitet, um eine Anpassung der Prognose vornehmen zu können.

Dafür wurde als Technologie ein MQTT Datenbroker für Echtzeit-Datenübermittlung zwischen Fahrzeug, Backend und Fahrgastauskunftssystemen eingesetzt. Insgesamt spielt MQTT eine entscheidende Rolle bei der Echtzeit-Datenverarbeitung im IoT (Internet of Things) und ermöglicht eine effiziente Kommunikation zwischen vernetzten Geräten. Es ermöglicht die nahtlose Übertragung von Daten zwischen Geräten, ohne dass komplexe Konfigurationen erforderlich sind. Auch unterstützt es Publish/Subscribe-Muster, bei dem Geräte Nachrichten veröffentlichen und andere Geräte diese abonnieren können.

Im Rahmen des U-hoch-3-Projekts wurde MQTT-Clustering für eine hohe Ausfallsicherheit mit anderen Technologien wie Apache Flink, einem Streamprozessor-Framework, und einer PostgreSQL-Datenbank kombiniert, um Datenströme zu verarbeiten, zu analysieren und historische Referenzdaten zu speichern.

Apache Flink ist ein Framework und eine verteilte Verarbeitungs-Engine für zustandsbehaftete Berechnungen über ungebundene und gebundene Datenströme.

Die DataStream API von Apache Flink ermöglichte den Aufbau einer robusten, zustandsbehafteten Streaming-Anwendung. Sie bietet eine feingranulare Kontrolle über Zustand und Zeit, was die Implementierung eines fortschrittlichen ereignisgesteuerten Systems ermöglichte. Mit der DataStream API wurden Streaming-Pipelines erstellt, die Daten aus verschiedenen Quellen verarbeiten, transformieren und analysieren.

1.2 Benutzungsschnittstellen

INIT konnte im Rahmen des U-hoch-3 Projektes die Sensortechnik in den Zügen systematisch verbessern. Dabei wurde die Software der Zähl-Sensoren weiterentwickelt und speziell auf die projektspezifischen Anforderungen angepasst. Es sei darauf hingewiesen, dass nach wie vor Schwierigkeiten bei der Zählung von Rollstühlen, Rollatoren, Kinderwagen und Fahrrädern bestehen. Hier lagen bis zum Feldtest nicht genügend Rohdaten vor um das KI-Modell ausreichend robust trainieren zu können. Eine weitere Herausforderung stellt die Erkennung von ausgefallenen Sensoren dar, beispielsweise durch Unterbrechung der Stromversorgung bei Abrüstung des Fahrzeugs während einer Fahrt. Sobald ein Sensor ausfällt, sind die Gesamtangaben der Fahrgastzählung für den ausgerüsteten Zugteil nicht mehr valide. Dieser Umstand kann im Nachgang einer Fahrt durch Plausibilitätsprüfungen rechnerisch korrigiert werden. In der Livedatenverarbeitung ist dies derzeit leider noch nicht möglich. Im Laufe des Projekts erwies sich die IT-Netzwerk-Infrastruktur in den Fahrzeugen als eine zusätzliche Herausforderung, da diese die Kommunikation vom Bordrechner an die Sensoren etabliert.

Schlussbericht 16SV8242

Das Problem besteht darin, dass das Abonnement der Zählsensoren für den Customer Information Service (CIS) und das Global Navigation Satellite System (GNSS) zur Übermittlung der zur Zähldatenzuordnung notwendigen Fahrtinformations- und Positionsdaten vom Bordrechner nicht stabil zur Verfügung steht. INIT musste hier einen aufwändigen Workaround entwickeln, um die Stabilität des Systems zur Datenübertragung von CIS- und GNSS-Daten weitgehend sicherzustellen.

1.3 Prognosemodul

Das finale Prognosemodul setzt sich aus zwei Phasen zusammen, der Langzeit- und der Kurzzeitprognose. Die erste Phase stellt die Langzeitprognose dar, welche einmal täglich für die nächsten sieben Tage eine Prognose berechnet. Prognostiziert werden dabei alle im Fahrplan enthaltenen Kanten. Für die Berechnung werden Vergleichskanten aus den historischen Zähldaten herangezogen. Die errechneten Langzeitprognosen werden dann auf dem MQTT-Broker veröffentlicht und gleichzeitig in der Datenbank abgespeichert.

Die zweite Phase, die Kurzzeitprognose, wird jedes Mal ausgelöst, wenn ein Fahrzeug Echtzeit-Zähldaten auf dem Broker ablegt. In einem nächsten Schritt werden die auf die Zähldaten folgenden Kanten im Fahrplan gesucht. Des Weiteren werden die dazugehörigen Langzeitprognosen aus der Datenbank abgerufen und mit den Echtzeitdaten verglichen. In der Folge werden die nachfolgenden Langzeitprognosen basierend auf dem Delta zwischen der Langzeitprognose und den Echtzeitdaten angepasst und als Kurzzeitprognose auf dem Broker veröffentlicht sowie in der Datenbank abgespeichert. (siehe Abbildung 1 – Prognosemodul)

Schlussbericht 16SV8242

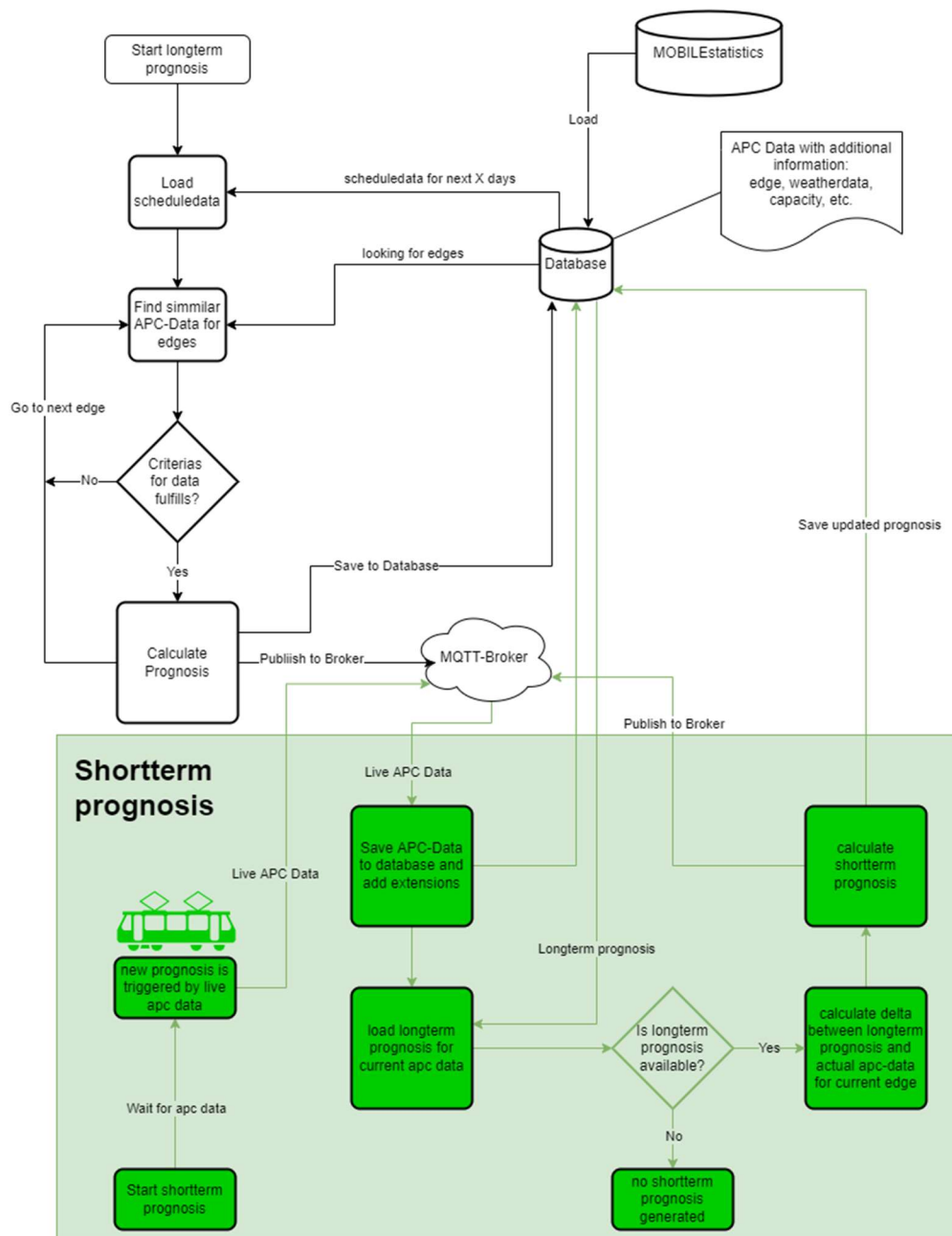


Abbildung 1 - Prognosemodul

Das Prognosemodul konnte in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel, Fachbereich VPVS, sukzessive verbessert werden. Zur Evaluierung der Prognosegenauigkeit wurde eine Gegenüberstellung der prognostizierten Belegungszustände mit den tatsächlichen Fahrgastaufkommen im gleichen Zeitraum vorgenommen. Auf diese Weise konnten Probleme identifiziert und nach und nach behoben werden. Es war damit möglich die Prognose so anzupassen, dass möglichst viele prognostizierte Kanten in der höchsten Filterstufe 4 getroffen werden konnten. Die Verteilung der Filterstufen für einen typischen Werktag kann aus *Abbildung 2* entnommen werden. Die Filterstufen bauen aufeinander auf, sodass eine Prognose der Stufe 4 gleichzeitig auch alle Kriterien der darunterliegenden Stufen erfüllt.

Die Stufen setzen sich wie folgt zusammen:

Schlussbericht 16SV8242

- **Filterstufe -1** ist keine Prognose, sondern eine statisch vorgegebene Ganglinie. Diese wird benutzt, wenn keine Prognose abgegeben werden konnte.
- **Filterstufe 0** ist die geringstmögliche Prognose. Damit sie ausgegeben werden kann müssen mindestens zehn Zähldaten zur selben Kante vorliegen.
- **Filterstufe 1** bezieht zusätzlich nur Fahrten ein, welche auch auf der gleichen Linie stattgefunden haben.
- **Filterstufe 2** berücksichtigt darüber hinaus, ob es sich um einen Schultag oder einen Ferientag handelt.
- **Filterstufe 3** benutzt alle Kriterien der Filterstufe 2 und schaut zusätzlich ob es sich um einen Wochentag, einen Samstag oder einen Sonntag/Feiertag handelt.
- **Filterstufe 4** berücksichtigt zusätzlich noch die Temperaturklasse auf der Kante.

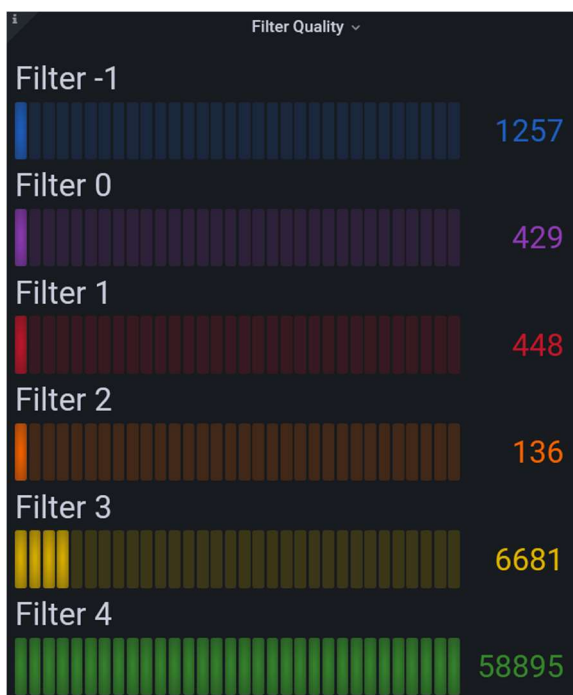


Abbildung 2 - Verteilung der Filterstufen an einem typischen Werktag

Schlussbericht 16SV8242

Tabelle 1 Zusammensetzung der Kriterien der Filterstufen

Kriterien / Filterstufe	-1	0	1	2	3	4
Min. 10 Vergleichskanten mit den folgenden Kriterien		✓	✓	✓	✓	✓
Gleiche Kante		✓	✓	✓	✓	✓
Gleiche Linie			✓	✓	✓	✓
Ist ein / kein Schultag				✓	✓	✓
Gleicher Tagestyp					✓	✓
Gleiche Temperaturklasse						✓

Der Algorithmus startet mit der Berechnung der Filterstufe 4. Sollte die Anzahl der gefundenen Vergleichskanten unter den historischen Daten mit den entsprechenden Kriterien nicht mindestens zehn betragen, so wird ein erneuter Versuch mit der Stufe 3 gestartet. Auf diese Weise werden die Filterstufen bis zum Auffinden von mindestens zehn Kanten oder bis zur Erreichung der Stufe -1 durchlaufen.

Die Verteilung der Filterstufen im Wochenverlauf zeigt eine gewisse Variabilität. Die Abbildung 3 präsentiert den Verlauf der Filterverteilung für den Zeitraum März bis Mai 2024. Es lässt sich ein deutliches Muster erkennen, bei dem montags bis freitags die Filterstufe vier dominiert. Die verbleibenden Filterstufen sind hingegen an Wochenenden deutlich stärker ausgeprägt. Gleiches gilt auch für Feiertage und Schulferien, welche sich in der Abbildung deutlich erkennen lassen.



Abbildung 3 – Prozentuale Filterverteilung über die Zeit vom 01.03.24 – 31.05.24

Dies ist in erster Linie auf die Verfügbarkeit der Daten zurückzuführen. Die Anzahl der Wochentage übersteigt die Anzahl der Samstage, Sonntage und Feiertage deutlich. In der Konsequenz kann folglich eine Vielzahl von Daten innerhalb einer Woche zum Vergleich herangezogen werden.

Die größte Veränderung in dem letzten Projektzeitraum war die Anpassung in Filterstufe 3.

Ursprünglich waren die Wochentage wie folgt aufgeteilt:

- Montag / Freitag
- Dienstag bis Donnerstag
- Samstag
- Sonntag
- Feiertag

Schlussbericht 16SV8242

Diese starke Aufteilung hat dazu geführt, dass nicht ausreichend Vergleichskanten gefunden werden konnten. Die stärkste Verbesserung wurde durch die Zusammenlegung von Sonntagen und Feiertagen erreicht.

Mit den angepassten Filtern konnten wir eine Gesamtprognosegüte von 82% richtig prognostizierten Kanten erreichen. Dabei liegt die Prognosegüte für die Tram bei 72% (von 842 Kanten) und bei den Bussen bei 82% (von 29.906 Kanten).

1.4 Veröffentlichung der Prognose

INIT hat alle Anforderungen der Firmen Lumino und HACON umgesetzt um die Echtzeit- und Prognosedaten auf die verschiedenen Plattformen zu übermitteln. Das aktuelle Format in welchem die Besetztgrad-Prognose ausgegeben wird erfüllt alle Anforderungen, um die Prognose entsprechend in der Hacon App und auf den Lumino Haltestellenanzeigern darzustellen. Leider konnte bis März 2024 noch keine Freischaltung der beiden Plattformen erfolgen, sodass ein abschließender Test nicht durchgeführt werden konnte. INIT bedauert diese Verzögerung außerordentlich, da die Ergebnisse der im Projekt entwickelten Besetztgrad-Prognose vielversprechend aussehen und man den Fahrgästen diesen Mehrwert gerne präsentieren wollte.

1.5 Mehrzweckflächenprognose

Große Herausforderungen bestehen nach wie vor bei der Prognose der Belegung der Mehrzweckflächen. Die Bereitstellung belastbarer Daten der in den Fahrzeugen der KVG neu installierten Sensorik zur Belegung der Mehrzweckflächen mit unterschiedlichen Objekten wie Rollstühlen, Rollatoren, Kinderwagen und Fahrrädern konnte im Projektzeitraum nicht realisiert werden. Daher konnte die Konzeption eines Prognosemodells auf Basis dieser Daten nicht realisiert werden. Im Projektverlauf musste sich daher auf die Erkennung eines Objektes (Fahrräder) beschränkt werden, um die Belegung der Mehrzweckflächen zu kommunizieren und in den Kanälen der Fahrgastinformation (App und an den Haltestellen) entsprechend darstellen zu können. Wie bereits erwähnt, sind die Zählraten für die Objekterkennung nicht sehr zuverlässig. Hinzu kommt, dass schon eine geringe Anzahl an Ein- und Ausstiegen zu extremen Schwankungen in der Auslastung der Fahrzeuge führen. In Absprache mit der KVG gilt eine mit zwei (2) Fahrrädern belegte Mehrzweckfläche als voll belegt. Diese Annahme erschwert eine zuverlässige Prognose. Weiterhin hat man sich im Konsortium darauf geeinigt, dass die aktuelle Belegung der Mehrzweckflächen durch Fahrräder für vier (4) Haltestellen im Voraus angezeigt wird. Diese Anzeigemöglichkeit steht allerdings nur in den Fahrzeugen zur Verfügung, welche die neuen Sensoren besitzen und an das Prognosemodul angeschlossen sind.

1.6 VDV 435

Die Erkenntnisse aus dem Projekt U-hoch-3 haben zur Veröffentlichung einer neuen VDV-Schrift beigetragen. Die neue VDV-Schrift 435-0 beschäftigt sich mit dem Internet of Mobility

Schlussbericht 16SV8242

(IoM) und den Grundlagen für den Einsatz von datengetriebenen Lösungen im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Sie bietet eine Orientierung, wie die Entwicklungen im Bereich Digitalisierung, Industrie 4.0 und Internet of Things (IoT) im ÖPNV genutzt werden können. Dabei werden unternehmenskulturelle Aspekte beleuchtet, und es wird beschrieben, wie ein Datenvermittler (Datenbroker) das Zusammenspiel operativer Telematiksysteme ermöglicht. Die VDV-Schrift 435-0 ist der Auftakt einer neuen VDV-Schriftenreihe, die die datengetriebenen Anwendungen im ÖPNV beschreibt und ein Rahmenwerk für die Standardisierung dieser Daten bereitstellt.

2 Voraussichtlicher Nutzen

3 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Corona-Pandemie hat die Notwendigkeit einer genauen Auslastungsprognose im ÖPNV weiter unterstrichen. Die Fahrgäste wollen nicht nur wissen, wann ihr nächstes Verkehrsmittel kommt, sondern auch, wie voll es voraussichtlich sein wird. Dies hilft, soziale Distanz zu wahren und das Infektionsrisiko zu minimieren. Projekte wie U-hoch-3, die sich mit der Verbesserung der Auslastungsprognose, der Belegung von Mehrzweckbereichen, der Anschlusssicherung und des Fahrgastkomforts beschäftigen, sind daher von hoher Relevanz.

Die Projektpartner INIT und IVU erarbeiteten, gemeinsam mit weiteren Partnern, innerhalb einer Arbeitsgruppe des VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen) Standards und Schnittstellen zu den Themengebieten Personenzählung und Besetzgrade im ÖPNV. Die Ergebnisse wurden in der VDV Schrift 435-3-5 „Internet of Mobility - IoM – Personenzählung & Besetzgrade / Person Counting & Occupancy“ festgehalten und veröffentlicht. Da INIT für die technische Umsetzung der Belegungsprognose im Projekt verantwortlich ist, fließt dieser Stand der Technik in die Entwicklungen ein.

4 Veröffentlichungen

4.1 Studentische Arbeiten

4.2 Tagungsbeiträge

Das Projekt wurde im Rahmen des BEKA-Seminars Forum für Fahrzeugdaten und -kommunikation im Juni 2023 vorgestellt.

4.3 Zeitschriften

4.4 Weitere Publikationen

VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen): Internet of Mobility - IoM – Personenzählung & Besetzgrade / Person Counting & Occupancy (VDV-Schrift 435-3-5), BEKA-Verlag, Köln, 2021

Kurzfassung des Schlussberichts



Verbundvorhaben: Unbeschwert urban unterwegs

Teilvorhaben: Unbeschwert urban unterwegs (U-hoch-3) im Schienenverkehr
Softwareentwicklung und -Integration für igszustand in Echtzeit und Prognose für Besetztgrad & Mehrzweckflächenbelegung

Förderkennzeichen: 16SV8242

Projektlaufzeit: 01.06.2019 bis 31.05.2023,
zuwendungsneutral verlängert bis 30.11.2023

Autoren: Dominic Warzok
Thomas Tessmann
Hannes Hameister

INIT Innovative Informatikanwendungen
in Transport-, Verkehrs- und Leitsystemen GmbH

Käppelestrasse 4-10
76131 Karlsruhe
Germany

Datum: 31.05.2024

Einleitung

Das Ziel des „U-hoch-3 Projektes ist es, die Attraktivität des ÖPNV zu steigern, indem Fahrgästen präzise Informationen über die Auslastung der Verkehrsmittel in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. Dies sollte den Fahrgästen ermöglichen, ihre Reisen besser zu planen und überfüllte Fahrzeuge zu vermeiden. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Auslastung von Mehrzweckflächen gelegt, da besonders mobilitätseingeschränkte Personen auf diese angewiesen sind.

Inhalt und Umsetzung

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene technische Lösungen und Modelle entwickelt und implementiert. Ein wichtiger Schritt war die Übertragung von Echtzeit-Zähldaten aus den Fahrzeugen in die Hintergrundsysteme, in denen die Daten ebenfalls in Echtzeit zur Anpassung der Prognose weiterverarbeitet wurden. Dafür wurde als Technologie ein MQTT Datenbroker für die Echtzeit-Datenübermittlung zwischen Fahrzeug, Backend und Fahrgastauskunftssystemen eingesetzt. Diese Technologie stellt sicher, dass die Daten nahtlos zwischen Geräten übertragen werden können, ohne dass komplexe Konfigurationen erforderlich sind.

Benutzungsschnittstellen

Die Software der Zähl-Sensoren konnte im Projektverlauf kontinuierlich verbessert und auf die projektspezifischen Anforderungen angepasst werden. Dennoch funktioniert die Zählung von Rollstühlen, Rollatoren, Kinderwagen und Fahrrädern noch nicht besonders zuverlässig. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass während der Projektlaufzeit nicht genug Rohdaten zum Training des KI-Modells vorhanden waren. Die Erkennung von ausgefallenen Sensoren, z.B. durch Stromunterbrechungen während der Fahrt, stellt eine weitere Herausforderung dar. Sensorausfälle invalidieren die Fahrgastzählung vorübergehend, können jedoch nachträglich korrigiert werden, jedoch nicht in Echtzeit. Die IT-Netzwerk-Infrastruktur in den Fahrzeugen ist ebenfalls problematisch, da sie die Kommunikation zwischen Bordrechner und Sensoren aufrechterhalten muss. Insbesondere das Abonnement der Zählensensoren für den Customer Information Service (CIS) und das Global Navigation Satellite System (GNSS) ist instabil. INIT hat komplexe Workarounds entwickelt, um die Stabilität der Datenübertragung von CIS- und GNSS-Daten sicherzustellen.

Prognosemodul

Das finale Prognosemodul besteht aus zwei Phasen: der Langzeit- und der Kurzzeitprognose. Die Langzeitprognose wird einmal täglich für die nächsten sieben Tage berechnet, basierend auf historischen Zähldaten, und die Ergebnisse werden im MQTT-Broker veröffentlicht und in der Datenbank gespeichert. Die Kurzzeitprognose wird ausgelöst, sobald Echtzeit-Zähldaten verfügbar sind. Diese Daten werden mit den Langzeitprognosen verglichen, um Anpassungen vorzunehmen und aktualisierte Kurzzeitprognosen zu erstellen.

Das Prognosemodul wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Kassel optimiert. Die Prognosegenauigkeit wurde durch den Vergleich der vorhergesagten Belegungszustände mit den tatsächlichen Fahrgastaufkommen evaluiert und stetig verbessert.

Es gibt fünf Filterstufen für die Prognosequalität, die auf verschiedenen Kriterien basieren, wie der Anzahl der Vergleichsdaten, Linien, Schultagen und Temperaturklassen. Der

Schlussbericht 16SV8242

Algorithmus beginnt mit der höchsten Filterstufe und geht stufenweise herunter, bis mindestens zehn passende Vergleichskanten gefunden werden.

Durch die Anpassung der Filterkriterien, insbesondere die Zusammenlegung von Sonntagen und Feiertagen, konnte die Prognosegüte verbessert werden. Insgesamt erreichte das System eine Prognosegenauigkeit von 82%, mit 72% für Trams und 82% für Busse.

Mehrzweckflächenprognose

Im Projekt war es nicht möglich, belastbare Daten für die Belegung der Mehrzweckflächen mit verschiedenen Objekten zu ermitteln, was die Entwicklung eines Prognosemodells behinderte. Stattdessen wurde die Konzentration auf die Erkennung von Fahrrädern beschränkt, wobei die Zuverlässigkeit der Zählzeiten eine Herausforderung darstellt und eine voll belegte Mehrzweckfläche bereits mit zwei Fahrrädern angenommen wird.

Ergebnisse

Zu den wichtigsten Ergebnissen des Projekts zählen:

1. Die erfolgreiche Implementierung von Echtzeit-Zählzeitenübertragungen und die Verarbeitung dieser Daten in den Hintergrundsystemen.
2. Die Entwicklung und Implementierung präziser Prognosemodelle, die eine hohe Genauigkeit bei der Vorhersage der Belegungszustände in Schienenfahrzeugen ermöglichen.
3. Die Erstellung grundlegender Modelle zur Vorhersage der Belegung von Mehrzweckflächen, insbesondere zur Nutzung durch Fahrräder.

Konkreter Nutzen und Anwendungsmöglichkeiten

Die entwickelten Technologien bieten eine Vielzahl von Vorteilen und Anwendungsmöglichkeiten:

- Erhöhter Komfort und Sicherheit für Fahrgäste: Durch die Bereitstellung von Echtzeitinformationen können Fahrgäste besser planen und überfüllte Verkehrsmittel vermeiden.
- Förderung der Nutzung des ÖPNV: Durch die erhöhte Transparenz und Verlässlichkeit wird die Attraktivität des ÖPNV gesteigert
- Unterstützung mobilitätseingeschränkter Personen: Spezielle Informationen zur Belegung von Mehrzweckflächen ermöglichen es mobilitätseingeschränkten Personen, ihre Fahrten besser zu planen und sicherzustellen, dass ausreichend Platz vorhanden ist.

Fazit

Das Projekt „U-hoch-3“ hat bedeutende Fortschritte bei der Echtzeit-Überwachung und Prognose der Belegungszustände im ÖPNV erzielt. Die entwickelten Technologien tragen dazu bei, den Komfort und die Sicherheit der Fahrgäste zu erhöhen und die Nutzung des ÖPNV zu fördern. Durch die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern und die Standardisierung der Verfahren wurden wichtige Grundlagen für zukünftige Entwicklungen im Bereich der vernetzten Mobilität geschaffen. Insgesamt leistet das Projekt einen wesentlichen Beitrag zur Modernisierung des ÖPNV und zur Erreichung der Ziele der Verkehrswende.