

FASaN – Fahrerassistenzsysteme adaptive Nachhaltigkeit im Bahnbetrieb

Die Verbesserung und Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen hat das Potenzial, den Bahnverkehr auch langfristig attraktiv und umwelt effizient zu gestalten. Neben der Optimierung einer einzelnen Zugfahrt können zukünftig auch betriebliche Randbedingungen wie Interaktionen mit anderen Zügen, Verspätungen, Vermeidung von Lastspitzen oder hohes Fahrgastaufkommen stärker berücksichtigt werden.



1. Motivation & Projektziel

Fahrerassistenzsysteme (FAS) unterstützen Triebfahrzeugführende (Tf), Zugfahrten pünktlich und mit minimalem Energieverbrauch durchzuführen. Durch die Integration verschiedener Daten werden dynamische Fahrempfehlungen (FE) generiert und so die Fahrtrajektorie optimiert. Dabei greift das System nicht in den technischen Kern der Fahrzeugsteuerung oder der Sicherungstechnik ein. Bisherige FAS funktionieren auf Basis von Fahrplan- und Streckendaten sowie der aktuellen Parameter des überwachten Zugs, wodurch Fahrzeitreserven erkannt und z. B. zur Energieeinsparung genutzt werden können. Dies erlaubt einen Einsatz durch einzelne Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), die direkt von den Energieeinsparungen profitieren. Aufgrund der Sicht auf einzelne Züge und fehlender Kenntnisse des gesamten Betriebsgeschehens, wie z. B. bei geplanten Überholungen, kommt es aber nicht immer zu optimalen FE. Durch die Erweiterung zu vernetzten Fahrerassistenzsystemen (vFAS) können zusätzlich zu den oben genannten noch Informationen aus der Leitstelle bzw. von anderen Zügen verarbeitet und so Empfehlungen auf der Basis der aktuellen betrieblichen Situation gegeben werden. [1]

Darüber hinaus werden Faktoren wie ein erhöhtes Fahrgastaufkommen an den Haltestellen und in den Zügen, der momentane Stromverbrauch der Gesamtflotte

oder Witterungsbedingungen bisher nicht bei der Berechnung von FE berücksichtigt. In Folge können prognostizierte Ankunftszeiten zum Teil nicht eingehalten werden und die Fahrgäste erhalten keine korrekten Ankunftsinformationen, was die Attraktivität des Verkehrsangebotes schmälert. Neben der Attraktivität spielt für den Betreiber aber auch die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Einer der Kostentreiber sind die Energieelastspitzen, die beim gleichzeitigen Anfahren mehrerer Züge oder beim erneuten Beschleunigen im oberen Geschwindigkeitsbereich entstehen. Mit einer Koordination der Beschleunigungsvorgänge durch das vFAS kann dies vermieden werden.

Im mFUND-Projekt FAS-D wurde bereits der benötigte Dateninput für eine Vernetzung von FAS thematisiert und hinsichtlich Verfügbarkeit, Funktion und Datenursprung kategorisiert. Des Weiteren wurden in einer Simulation erste positive Effekte auf Energieverbrauch, Streckenleistungsfähigkeit und Pünktlichkeit nachgewiesen. [1, 2]

Ziel des aktuell laufenden mFUND-Projektes FASaN [3] ist es, auf der Basis von vFAS das Mobilitätsangebot attraktiver zu gestalten und gleichzeitig Energiebedarfe zu senken bzw. unnötige Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder Lastspitzen zu vermeiden. Um diese Ziele zu erreichen, forscht das Konsortium, bestehend aus dem Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH (INAVET), dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.



Dr.-Ing. Christian Meirich
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Gruppenleiter Bahnbetrieb in der Abteilung Design & Bewertung von Mobilitätslösungen
christian.meirich@dlr.de



Dipl.-Ing. Philip Ritzer
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Bahnbetrieb in der Abteilung Design & Bewertung von Mobilitätslösungen
philip.ritzer@dlr.de



Dipl.-Ing. Patrick Reiher
INAVET – Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH, Projektleiter Vollbahn
patrick.reiher@inavet.de



M. Eng Gregor Ullrich
Ostdeutsche Eisenbahn GmbH (ODEG), Teamleiter IT
gregor.ullrich@odeg.de



Dipl.-Ing. (FH) Adrian Franz
ETC Solutions GmbH, Product Consultant und Anwendungsberater im Bereich Stakeholdermanagement
adrian.franz@etc-consult.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., INAVET - Institut für angewandte Verkehrstelematik, Ostdeutsche Eisenbahn GmbH, ETC Solutions GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



1: Fahrempfehlung „Leistung abschalten“ zum Ausrollen des Zuges Quelle: ETC Solutions GmbH

(DLR), der Ostdeutschen Eisenbahn GmbH (ODEG) und der ETC Solutions GmbH, gemeinsam an der Umsetzung und Validierung eines vFAS. Die im Projekt FAS-D ermittelten Datengrundlagen werden in einem vFAS umgesetzt und auf Fahrzeugen der ODEG erprobt, siehe Bild 1.

Anhand verschiedener Anwendungsfälle soll gezeigt werden, welche praktischen Verbesserungen für das Mobilitätssystem sich durch die Nutzung von vFAS erreichen lassen. Begleitend werden gemeinsam mit den Tf Vorschläge zur Gestaltung des Systems erarbeitet und ein Schulungs- und Motivationskonzept entwickelt, um die Akzeptanz durch die Tf sicherzustellen.

2. Anwendungsfälle der Optimierung

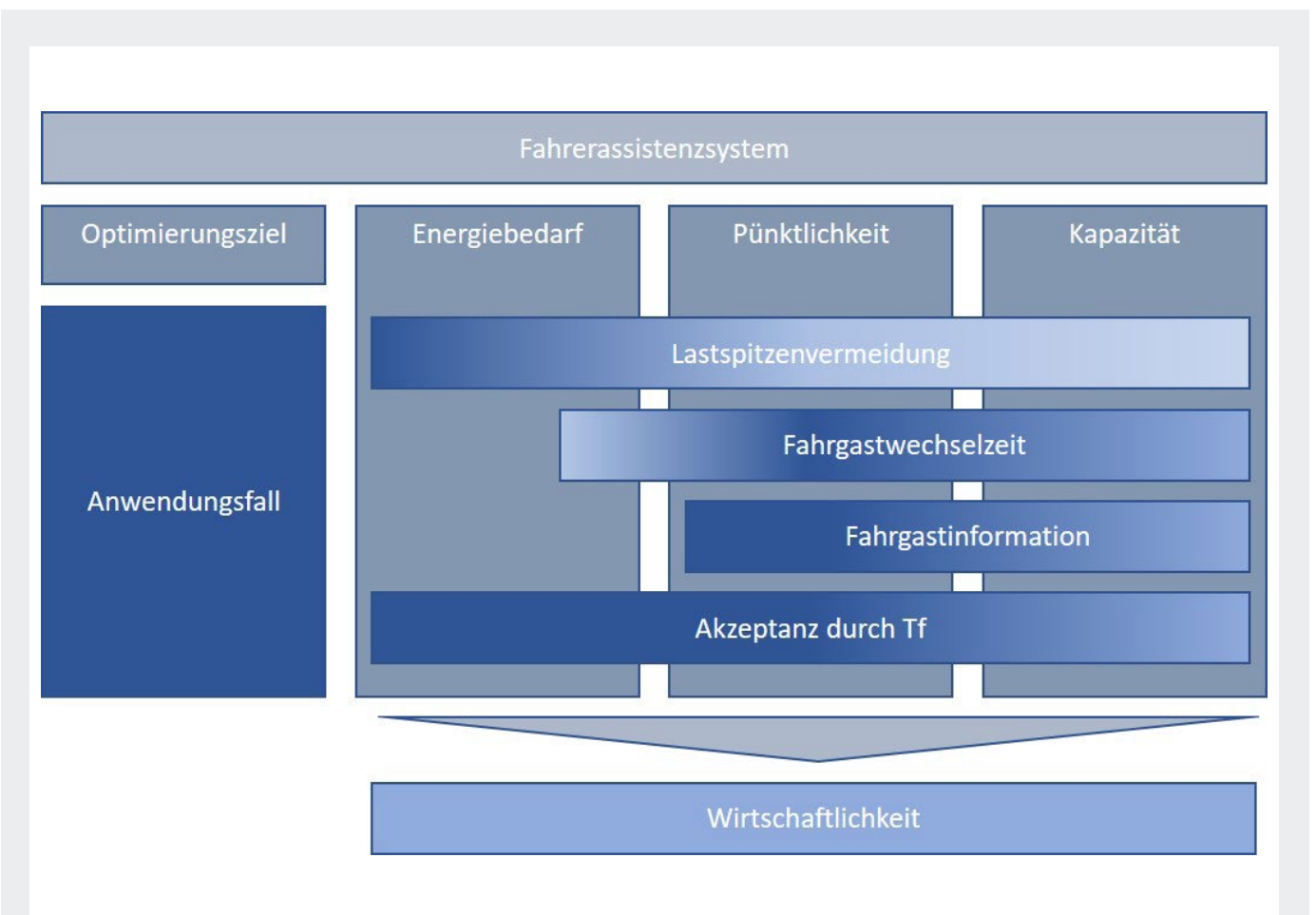
Für die Ermittlung der Potenziale von vFAS wurden im Projekt die folgenden vier Anwendungsfälle identifiziert:

- Lastspitzenvermeidung
- Fahrgastwechselzeitprognose

- Verbesserung der Fahrgastinformationen (FI)
- Akzeptanz bei Triebfahrzeugführenden

Durch den Einsatz von FAS zum energiesparenden Fahren und die Nutzung der entsprechenden FE lassen sich bereits heute z.T. erhebliche Einsparpotenziale beim Energieverbrauch erzielen, allerdings immer nur bezogen auf die einzeln betrachtete Zugfahrt. Durch die Vernetzung der FAS lassen sich weitere wesentliche Potenziale erschließen, die sich im bisherigen Einsatz immer wieder als Handlungsschwerpunkte und Fragen insbesondere auch der EVU darstellen. Dazu gehören die Reduzierung der Lastspitzen, die Berücksichtigung des aktuellen Fahrgastaufkommens und die bessere Nutzung bzw. Erhöhung der Akzeptanz des FAS bei den Tf.

Bild 2 stellt den Zusammenhang der oben genannten Anwendungsfälle zu den Optimierungszielen der FAS dar. Zu den Optimierungszielen zählen in erster Linie die Reduktion des Energiebedarfs sowie



2: Zusammenhänge der Anwendungsfälle zu den jeweiligen Optimierungszielen von Fahrerassistenzsystemen

Quelle: DLR

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., INAVET - Institut für angewandte Verkehrstelematik, Ostdeutsche Eisenbahn GmbH, ETC Solutions GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DW Media Group GmbH



die Erhöhung der Pünktlichkeit bzw. der Kapazität des Schienennetzes. In [2] wurden diese Zusammenhänge mittels Simulationsrechnungen analysiert. Dabei ist zu erwähnen, dass eine Optimierung hinsichtlich des einen Ziels nicht immer mit den jeweils anderen einhergehen muss. In Bild 2 wird der Einfluss durch die Färbung des Anwendungsfalls dargestellt. Je dunkler der Balken dargestellt ist, desto höher ist der Einfluss auf das jeweilige Optimierungsziel. Nicht zu vernachlässigen ist neben den jeweiligen Optimierungszielen das Thema der Wirtschaftlichkeit, da alle hier dargestellten Ziele einen unmittelbaren Einfluss in Form von Einsparungen bzw. Bedarf auf diese haben.

Im Projekt FASaN wird daher analysiert, inwiefern der maximale Strombedarf (Lastspitzen), welcher für die Dimensionierung der Strombereitstellung als Kenngröße (+r und -n) dient, durch eine Staffelung bei der zeitgleichen Anfahrt von Zügen reduziert werden kann. Damit liegt ein unmittelbarer Einfluss auf den Energiebedarf vor. Jedoch kann es indirekt zu Verzögerungen bei der Abfahrt (Pünktlichkeit) und zu längeren Haltezeiten und damit zu einer Verringerung der Kapazität kommen.

Weiter beeinflusst das Fahrgastaufkommen im Zug bzw. am Bahnsteig ebenfalls die Haltezeit unmittelbar und bei einem hohen Aufkommen auch die Pünktlichkeit. Bei einer Verspätung ist diese unter Energieeinsatz und höherer Geschwindigkeit abzubauen, weshalb eine vorausschauende Fahrweise unter Einbezug der Fahrplanpufferzeiten und ggf. einer verfrühten Ankunft die Verspätung reduzieren bzw. vermeiden kann. Zu diesem Zweck wird auch der Themenblock der FI relevant, also inwiefern mehr und zielgerichtete Informationen dem Fahrgast helfen, den Betrieb effizient mitzugestalten und bspw. eine Haltezeitverkürzung zu realisieren ist.

Als letzter wesentlicher Punkt wird die Akzeptanz der FE durch das Fahrpersonal genannt. FAS können heutzutage lediglich FE geben, diese aber nicht selbständig

umsetzen, da kein Eingriff in die Fahr- und Bremssteuerung erfolgt. Die Akzeptanz der FE durch den Menschen ist also von entscheidender Bedeutung, und beeinflusst das Fahrverhalten unmittelbar. Es wird also untersucht, inwiefern sich die Benutzerfreundlichkeit durch Informationen, Schulungs- und Motivationskonzepte erhöhen lassen.

3. Erprobung und Validierung im realen Betrieb und durch Simulationen

Wie gut sich die Ergebnisse und Potenziale aus der Simulation eines vFAS auf den realen Betrieb übertragen lassen, soll anhand von Betriebssituationen unter Realbedingungen und der Umsetzung eines Prototyps auf dem Netz der ODEG validiert werden. Durch die im Vorgängerprojekt FAS-D erarbeiteten theoretischen Grundlagen ist es möglich, den Stand der Technik mit einer prototypischen Umsetzung eines vFAS in der Praxis anzuheben. Parallel zur eigentlichen Implementierung der neuen Algorithmen werden hierzu bahnbetriebliche und fahrdynamische Simulationen zur Erweiterung der Funktionalität erstellt. Über Sensitivitätsanalysen kann bereits vor der Testphase ermittelt werden, welche Funktionen des vFAS besonders hohe Auswirkungen auf Betrieb und Wirtschaftlichkeit haben. Durch einen Vergleich der simulierten Effekte mit den realen Versuchsdaten kann zudem die wissenschaftliche Methodik zur Bewertung eines vFAS verbessert werden.

Die Erprobung des FAS wird arbeitspsychologisch durch eine direkte Einbeziehung der Tf begleitet, um zu erforschen, wie eine bestmögliche Integration in den Arbeitsalltag und eine hohe Akzeptanz durch die Tf sichergestellt wird. Dabei werden zunächst die Anforderungen der Tf an die darzustellenden Informationen mittels Befragungen erhoben. Diese werden dann in graphische Gestaltungsvarianten der Bedienoberfläche des FAS übersetzt, die nach psychologischen Gesichtspunkten generiert wurden. Der Fokus liegt dabei auf intuitiver Darstellung und Bedienbarkeit so-

wie optimaler Informationsdichte, um ein hohes Situationsbewusstsein zu erreichen und Ablenkungen durch das System zu vermeiden. Aufbauend auf den bisherigen Arbeiten aus FAS-D [1] beinhaltet dies auch eine nachvollziehbare Begründung der FE für die Tf (z.B. „Weshalb Ausrollen trotz geringer Verspätung?“) und ein Feedback über die Fahrweise an die Tf. Verschiedene Gestaltungsvarianten werden im Anschluss mit den Tf in sog. Fokusgruppen (angeleitete Gruppendiskussionen) diskutiert, um anschließend zu entscheiden, welche Variante weiterentwickelt wird. Das auf dieser Basis entwickelte Interface wird anschließend in einem Nutzertest evaluiert. Hierbei wird der Ablauf der Bedien- und Anzeigeschritte im FAS mit einer Testgruppe von Tf durchgespielt, um die Verständlichkeit der dargestellten Informationen zu prüfen, die Gestaltungsvariante zu optimieren und gegebenenfalls noch Anpassungen am Prototyp vorzunehmen. Begleitend werden psychologische Faktoren ermittelt, die die Akzeptanz der Tf gegenüber FAS hemmen oder begünstigen. Schließlich wird ein Schulungs- und Motivationskonzept zur Erhöhung der Akzeptanz und der Befolgung der FE erarbeitet.

Während der Testphase werden die Prototypen auf mehreren Fahrzeugen der ODEG im realen Betrieb installiert. Neben der Sicherstellung von Nutzbarkeit und korrekter Funktion steht hierbei eine Messkampagne im Vordergrund, die die statistische Auswertung von Wirkungen des vFAS im Sinne der Pünktlichkeit, des Energieverbrauchs und der Vermeidung von Lastspitzen erlaubt. Hierfür werden anonymisierte Fahrprofile der Züge erfasst und mit Daten zum Betriebsgeschehen ergänzt sowie parallel Daten eines bestehenden nicht-vernetzten FAS aufgezeichnet, sodass eine valide Ermittlung der Effekte der verbesserten FE möglich ist. Ebenfalls wird in der Testphase das FAS mit den Zusatzinformationen aus arbeitspsychologischer Sicht evaluiert. Dabei werden die Tf nach Nutzung des FAS im Realbetrieb zur

Akzeptanz der FE, zur Angemessenheit von Inhalt und Menge der Zusatzinformationen, ihrer Verständlichkeit und ihrer graphischen Darstellung befragt. Dies wird durch einige begleitende Führerstandmitfahrten ergänzt, um aus der Beobachtung der Interaktion sowohl erfahrener als auch unerfahrener Tf mit dem FAS und deren Fahrverhalten Schlüsse sowohl für die Wirksamkeit der FE als auch für Verbesserungspotenzial zu ziehen.

Für die Verbesserung der FI ist ein unmittelbarer Dialog mit relevanten Stakeholdern sowie den Fahrgästen vorgesehen. Ziel ist es, Lösungen für FI zu identifizieren, die für alle beteiligten Akteursgruppen umsetzbar sind und als erstrebenswert erachtet werden (vgl. Bild 3).

Schließlich werden die Lösungsskizzen in erlebbare Mock-ups überführt und in Bezug auf ihre Fahrgastfreundlichkeit durch Probanden bewertet. Für die Erfassung dieser Fahrgastbewertungen werden zum einen Erhebungsmethoden gewählt, die es Fahrgästen ermöglichen, facettenreiche und aufeinander aufbauende alternative Lösungen zu benennen. Durch eine iterative Einarbeitung der Fahrgastbewertungen wird das Aufsetzen der finalen Lösungen ermöglicht.

4. Risikomanagement

Entscheidend für den Erfolg eines vFAS ist eine gegenüber herkömmlichen Systemen maßgeblich verbesserte Optimierung der Fahrtrajektorie. Ein Risiko besteht daher in unerwartet geringen Effekten der Vernetzung. Durch die im Projekt FAS-D durchge-

fürten Simulationen konnte bereits nachgewiesen werden, dass durch vFAS Effekte für die Verringerung von Energiebedarfen bzw. Verbesserungen von Pünktlichkeiten und Kapazitäten auftreten (vgl. [2] bzw. [4]), sodass lediglich die Höhe der Auswirkungen dieser von der Prognose abweichen kann. Eventuell notwendige Anpassungen an den Algorithmen des vFAS sind durch eine ständige Begleitung der Implementierung ebenso wie durch die Möglichkeit nachträglicher Korrekturen während der Testphase vorgesehen.

Dem Risiko, dass die Effekte des vFAS aufgrund eines geringen Befolungsgrades durch den Tf verringert werden, wird durch einen präventiven Einbezug der betroffenen Nutzer entgegengewirkt. Gleiches gilt bei der Informationsbereitstellung für die Fahrgäste und den daraus resultierenden Effekten. Durch Simulationen können verschiedene Lösungsansätze gegenübergestellt werden. Zudem lassen sich die Effekte unterschiedlicher FE bzw. unterschiedlicher Reaktionen der Tf auch quantitativ erfassen und miteinander vergleichen. Dabei greift das Konsortium auch auf den Fahr Simulator der INAVET zurück, auf dem mittels Echtvideos verschiedene Strecken befahren werden können und die Möglichkeit besteht, unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten der FE und entsprechend unterschiedliche Reaktionen der Tf zu evaluieren (vgl. Bild 4).

In einem letzten Schritt werden die finalen Prototypen für FI und Fahrgastlenkung in Nutzertests auf Verständlichkeit, Nutzerfreundlichkeit und -akzeptanz

geprüft. Ebenso erfolgt eine laufende Evaluierung der Erfahrungen im Realbetrieb, sodass spätere Verbesserungen der Oberfläche oder der bereitgestellten Informationen ermöglicht werden.

5. Zusammenfassung

Betriebswirtschaftlich werden sowohl direkte Einsparungen durch die Vermeidung von Lastspitzen erwartet, welche durch kurzfristige Ausschläge hohe Kosten verursachen, als auch durch eine pünktlichere Betriebsabwicklung und somit reduzierte Verspätungspönalen. Allgemein senken Fahrerassistenzsysteme, deren Funktionen durch eine Vernetzung weiter verbessert werden können, Energiebedarf und Verschleiß des Rollmaterials, indem vorausschauend gefahren werden kann und seltener gebremst werden muss. Seitens der Eisenbahninfrastrukturunternehmen sind positive Effekte für die Kapazität der Schienenwege zu erwarten. Der durch die verbesserten Prognosen angestrebte pünktlichere Betrieb hilft bei der Erhöhung von Trassenkapazitäten, wodurch in Grenzfällen Investitionen in die Infrastruktur vermieden werden könnten.

Durch eine optimierte FI werden die Fahrgäste in ihrer Reiseplanung und -durchführung unterstützt, sowie die Pünktlichkeit des Bahnverkehrs durch eine Angabe der Wagenauslastung erhöht (vgl. [5]). Dadurch erhöht sich unmittelbar bis mittelfristig die Zufriedenheit der Fahrgäste, u. a. auch bei seh- und hörbehinderten Fahrgästen. Sofern die Prototyp-Lösungen im realen Bahnverkehr permanent umgesetzt werden, ist dadurch längerfristig eine

CN△CONSULT

DiLoc® | Sync

Echtzeit-Fahrempfehlungen

Fahren Sie energieeffizient!

- LEADER4DiLoc in Kooperation mit Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH
- Integration der "Grünen Funktionen" der DB Netz AG

CN-Consult GmbH
Am Seifen 12
D-35756 Mittenaar
Tel.: +49 2778 37200-00

Schenkstrasse 1
CH-3380 Wangen an der Aare
Tel.: +41 61 5003756

info@cn-consult.eu
www.cn-consult.eu

IRIS
Certification





4: Fahr Simulator der INAVET GmbH

Quelle: INAVET GmbH

erhöhte Attraktivität des Schienenverkehrs zu erwarten. Dadurch können Fahrgastzahlen gesteigert werden und der Umstieg vom motorisierten Individualverkehr auf eine klimafreundliche Alternative wird erleichtert. Sobald die Lösungen für den Regelbetrieb final entwickelt sind, lassen sich die Fahrgastzufriedenheit, die verbesserte Teilhabe sowie die potenziell veränderte Nutzungsintention durch standardisierte Befragungen erheben.

Neben der Verbesserung der Betriebsqualität und den damit verbundenen positiven Auswirkungen auf die Fahrgäste sollen die Schulungs- und Motivationskonzepte dabei helfen, Tf die Arbeit zu erleichtern. Ein optimal gestalteter Arbeitsplatz erhöht letztlich auch die Attraktivität des Berufes und hilft, Nachwuchs dafür zu gewinnen. Zusätzlich ist die unmittelbare Einbindung von Reisenden vorgesehen, um die notwendigen Informationsbedarfe, welche sich durch die Möglichkeit der Weitergabe der Auslastung innerhalb der Züge ergeben, zu ermitteln. Durch eine optimale FI kann wiederum die Attraktivität des Schienenverkehrs erhöht werden. ●

Förderhinweis

Die hier vorgestellten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Programm mFUND gefördert. Die vorliegenden Inhalte sind im Rahmen des Projektes „FASaN: Fahrerassistenzsysteme adaptive Nachhaltigkeit im Bahnbetrieb“ (VKZ: 19FS2022A) entstanden.

Literatur

- [1] MEIRICH, Christian; FLAMM, Leander; JÄGER, Bärbel; REIHER, Patrick; KRIMMLING, Jürgen; ULLRICH, Gregor: Erweiterung von Fahrerassistenzsystemen im Bahnbereich durch die Verbesserung der Datengrundlage: Abschlussbericht des vom BMVI geförderten mFUND-Projektes „FAS-D“. 2020 – Förderkennzeichen 45MF00031A.
- [2] MEIRICH, Christian; FLAMM, Leander; KRIMMLING, Jürgen; JÄGER, Bärbel: Betriebliche Optimierung des Eisenbahnbetriebs mittels vernetzter Fahrerassistenzsysteme. In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, (2020), Nr. 03.
- [3] BMDV: Fahrerassistenzsysteme adaptive Nachhaltigkeit im Bahnbetrieb – FASaN: Projektsteckbrief des

mFUND-Projektes „FASaN“ gefördert durch das BMDV. 2022 <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/fasan.html>.

[4] Meirich, Christian; Flamm, Leander; Jäger, Bärbel (2021): Möglichkeiten und Voraussetzungen vernetzter Fahrerassistenzsysteme. In: Deine Bahn (03), S. 48-52. Online verfügbar unter <https://www.system-bahn.net/archiv/moeglichkeiten-und-voraussetzungen-vernetzter-fahrerassistenzsysteme/>.

[5] DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V.; ET. AL.: ProTrain Schlussbericht: Abschlussbericht des vom BMVI geförderten mFUND-Projektes „ProTrain“. 2020.

Summary

FASaN – Driver Assistance Systems adaptive Sustainability in Rail Operation

The improvement and networking of driver assistance systems has the potential to make railway transport attractive and environmentally efficient in the long term. In addition to the optimization of the single train journey, operational constraints such as interaction with other trains, delays, avoidance of peak loads or high passenger volumes can be taken into account to a greater extent in the future.