

Betriebliche Optimierung des Eisenbahnbetriebs mittels vernetzter Fahrerassistenzsysteme

Meirich, Christian¹; Flamm, Leander¹; Krimmling, Jürgen², Jäger, Bärbel¹

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR);
Institut für Verkehrssystemtechnik

² Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH (INAVET)

Zusammenfassung

Vernetzte Fahrerassistenzsysteme können über die Funktionalität bestehender Systeme hinaus nicht nur das Fahrprofil einzelner Züge optimieren, sondern auch den Betrieb in einem Schienennetz insgesamt hinsichtlich Energieverbräuchen oder Streckenkapazitäten verbessern. Anhand von Simulationen wird für zwei betriebliche Szenarien ein erstes Optimierungspotenzial identifiziert.

Keywords: Fahrerassistenzsysteme, Vernetzung, energetische Optimierung, betriebliche Optimierung

1 Einleitung

Fahrerassistenzsysteme (FAS) stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, die Fahrweise eines Triebfahrzeugführers durch Empfehlungen auf Grundlage von betrieblichen oder verbrauchsorientierten Überlegungen zu optimieren. Insbesondere unter außerplanmäßigen Betriebsbedingungen können hier Verbesserungen erzielt werden, ohne in den technischen Kern der Fahrzeugsteuerung oder der Sicherungstechnik einzugreifen. Bisherige Systeme funktionieren auf Basis von Fahrplan- und Streckendaten sowie den aktuellen Parametern 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, ohne dass eine Vernetzung mit der Leitstelle oder mit Zügen anderer EVU notwendig ist. Hierdurch bleibt allerdings das Potenzial ungenutzt, über das gesamte Betriebsgeschehen

Optimierungen durchzuführen, da lediglich auf den im Zug bekannten Zustand des Betriebs reagiert werden kann.

Durch die stetig voran schreitende digitale Vernetzung und den damit verbundenen schnelleren und unmittelbaren Datenaustausch eröffnen sich auch im Bereich der FAS neue Möglichkeiten. Vernetzte Fahrerassistenzsysteme (vFAS) erhalten zusätzlich zu den oben genannten Informationen unter anderem noch Informationen über die Positionen und Zustände anderer Züge aus der Leitstelle. So können zusätzlich Empfehlungen auf der Basis der aktuellen betrieblichen Situation gegeben werden.

Dieser Beitrag stellt im nächsten Kapitel zunächst den derzeitigen Stand der Technik von FAS dar und beschreibt zusätzlich die Möglichkeiten welche mit einer Vernetzung einhergehen. In Kapitel 3 werden relevante betriebliche Anwendungsfälle für den Einsatz von FAS sowie vFAS beschrieben, bevor im darauf folgenden Kapitel 4 die jeweiligen Potentiale in Form von „best-case“ und „worst-case“ Szenarien identifiziert werden. Im Anschluss wird das Verbesserungspotenzial dieser Szenarien simulativ untersucht.

2 Technische Möglichkeiten von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme sind weltweit erfolgreich im realen Bahnbetrieb im Einsatz [1–6]. Während vor einigen Jahren nur minimale Energieeinsparungen erreicht wurden [7], haben aktuelle Metastudien Einsparungen von im Schnitt 8 bis 9 % dokumentiert [8].

Es können aber je nach Anwendungsfall auch Werte von bis zu 15 % erreicht werden. Diese Angaben beziehen sich auf anonymisierte Befragungen von Anwendern. Als Referenzgröße zur Bewertung von FAS wird der direkte Vergleich von Fahrten mit bzw. ohne FAS vorgenommen, wobei der gemessene Verbrauch von den jeweiligen Streckenparametern, betrieblichen Rahmenbedingungen sowie der Erfahrung der Triebfahrzeugführer (Tf) abhängt. [8]

Hierin spiegeln sich technische Fortschritte in der Algorithmik und in den Kommunikationsstrategien zum Tf wider. In [8] wird ebenfalls empirisch ergründet, mit welchen Motiven FAS von Anwendern eingesetzt werden, wobei die Energieersparnis als Hauptgrund identifiziert wird. In der Forschung werden dagegen auch weitergehende Ansätze untersucht, die eine Optimierung einer Zugfahrt nach weiteren Kriterien wie der Streckenkapazität oder der Lärmbelastung von Anwohnern ermöglichen [9]. Die Optimierung einzelner Zugfahrten kann wissenschaftlich als erarbeitet angesehen werden. Die Nutzung vernetzter Informationsflüsse zwischen mehreren Fahrzeugen oder Fahrzeugen und Infrastruktur wurde dagegen noch nicht umfassend untersucht.

Nachfolgende Abbildung 16 zeigt eine schematische Darstellung für die verschiedenen Optimierungsstufen bei der Entwicklung von FAS nach [8].

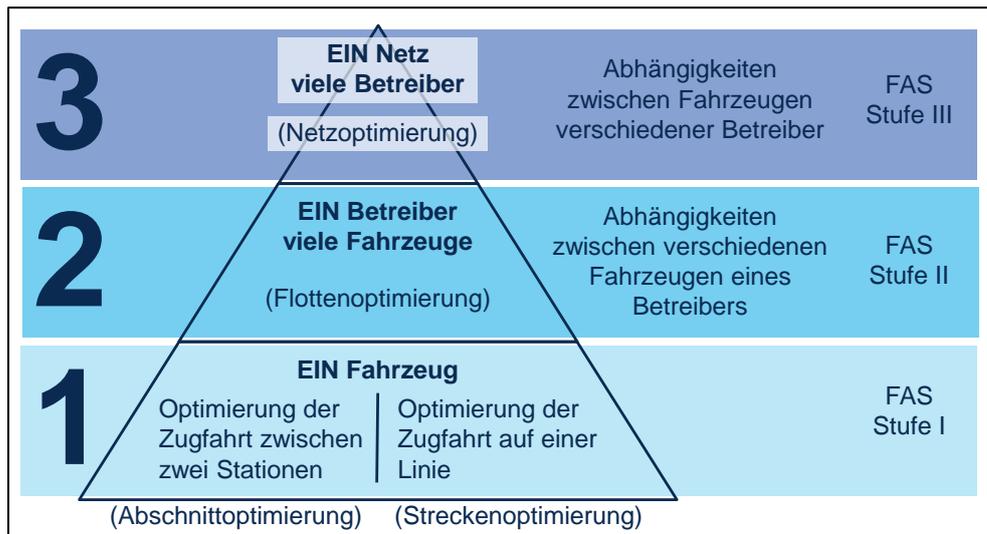


Abbildung 16: Betrachtungsstufen für die Optimierung durch FAS [10]

Der derzeitige Stand der Technik hinsichtlich der Datengrundlage bezieht sich auf die Optimierung der Fahrkurve eines einzelnen Fahrzeuges (vgl. Stufe 1) und ist vergleichsweise einfach umzusetzen. Sowohl technisch als auch betrieblich aufwendiger sind jedoch die Ansätze, bei denen die Datengrundlage so zu erweitern ist, dass auch eine Optimierung der Stufen 2 bzw. 3 ermöglicht wird. Dies betrifft sowohl die Ausrüstung anderer Züge oder einer zentralen Leitstelle als auch mögliche Prädiktionsverfahren auf Basis von Big Data-Analysen. Dabei sind neben der Anpassung der Datengrundlage zusätzlich auch Organisationsstrukturen zu schaffen, die eine vernetzte FAS vollumfänglich ermöglichen.

Fahrerassistenzsysteme werden derzeit als zentrale Systeme oder als fahrzeugbezogene Systeme eingesetzt. Letztere besitzen den Vorteil, dass permanente Anpassungen der Fahrtrajektorie möglich sind, ohne dass eine Datenübertragung zu einer Zentrale erfolgen muss. Zu den wesentlichen Funktionalitäten gehört neben der Optimierung der Fahrt zwischen zwei Halten auch die Bereitstellung von Abfahrtsempfehlungen. Die Optimierung erfolgt auf Basis wissenschaftlicher Grundlagen vorrangig durch Auslauf- und Tempomatempfehlungen. Die Basis der Abfahrtsempfehlungen ist der statische Fahrplan, welcher z. B. durch die Kopplung mit einem RBL-System dynamisiert werden kann, um tagesaktuelle Langsamfahrstellen zu berücksichtigen. Infrastrukturelle Besonderheiten wie Schutzstrecken, PZB Beeinflussungen, zugnummernfeine Haltepositionen werden derzeit nur teilweise berücksichtigt. Elemente der dynamischen Fahrzeitenregelung wie beispielsweise unterschiedliche Strategien zum Aufholen von Verspätungen finden ebenfalls allmählich Anwendung in Fahrerassistenzsystemen. Einen wesentlichen Einfluss auf die

Wirksamkeit der FAS hat die Modellierung der Fahrdynamik der Fahrzeuge, der verschiedenen Bremsmodelle und der fahrdynamischen Widerstände. Ebenfalls ist eine energetische Optimierung bei verspäteten Zugkreuzungen auf eingleisigen Strecken möglich. Ausgeführt werden FAS üblicherweise als SmartPhone- oder als Tablett- Lösung (vgl. Abbildung 17). Ob die Empfehlungen optisch und/oder akustisch ausgegeben und ob die Geräte im direkten Sichtbereich des Triebfahrzeugführers angebracht werden, liegt in der Entscheidungskompetenz der jeweiligen EVU.



Abbildung 17: Fahrerassistenzsystem bei CANTUS als SmartPhone Anwendung

Zur Unterstützung der Fahrerassistenzsysteme entwickelt die DB Netz AG die Grünen Funktionen der Zuglaufregelung [1]. Darin werden zunächst kostenpflichtig die Funktionen „Planfahren“ und „Nachfahren“ (das heißt ein langsamerer Zug ist voraus) für genau definierte Streckenabschnitte zur Verfügung gestellt. Vorgesehen sind die Funktionen „Fahrzeit kürzen vor Langsamfahrstellen“ und die Bereitstellung von Durchfahrtintervallen an bestimmten Streckenpunkten.

Ein nennenswerter Vorteil für die Ausrüstung und Weiterentwicklung von FAS ist die kurzfristige Umsetzbarkeit, welche ein großes Potenzial für die Übergangszeit bis zur flächendeckenden Einführung von ETCS und ersten Anwendungen des automatischen Fahrens bietet. Im Fall einer verzögerungsfreien Umsetzung des ETCS-Rollouts, wie zuletzt von der DB AG beschrieben, ist 2040 von einer Ausrüstung der letzten Betriebsregionen auszugehen [11]. Erst ab dann können flächendeckend Automatisierungslösungen implementiert werden, die auf ETCS aufbauen. Weiterhin ist für eine Automatisierung bei Bestandsfahrzeugen ein Eingriff in die Fahrzeugsteuerung und somit eine erneute Zulassung notwendig, was mit entsprechenden Kosten verbunden und je nach Fahrzeugalter nicht sinnvoll ist. Im Gegensatz dazu können FAS unabhängig von der Sicherungstechnik und ohne Veränderung der Fahrzeugsteuerung eingesetzt werden, wodurch resultierende positive Effekte zeitnah genutzt werden können.

3 Betriebliche Anwendungsfälle

In diesem Kapitel sollen exemplarisch die nachfolgenden betriebliche Anwendungsfälle für den Einsatz von FAS sowie deren Vernetzung aufgezeigt und im Anschluss näher beschrieben werden.

Über eine neue Datenlage sowie durch den Einsatz von vFAS sollen die folgenden Optimierungsziele erhöht bzw. verbessert werden:

- Energieeinsparungen durch eine angepasste Fahrweise,
- die Pünktlichkeit der Zugfahrten,
- zusätzlich pos. Auswirkungen auf die Streckenkapazität sowie
- die Akzeptanz der Triebfahrzeugführer für die Nutzung

Der betriebliche Anwendungsfall für ein einfaches FAS ohne Vernetzung liegt in der Optimierung der eigenen Fahrtrajektorie. Das Hauptziel ist hierbei die energiesparende Fahrweise (vgl. Kapitel 2) in Abhängigkeit der im Fahrplan vorhandenen Pufferzeiten. Als weitere Möglichkeit ist hier aber auch der Verspätungsabbau zu nennen. In der Regel steht dieser jedoch im Gegensatz zu einer Energieeinsparung, da hier ein schnelleres Fahren fokussiert wird, um die verspätete Zeit wieder aufzuholen.

Darüber hinaus ist eine Optimierung der Zugtrajektorien nicht nur für einzelne Züge interessant, sondern im Sinne einer verbesserten Kapazitätsnutzung der Strecke auch für das Infrastrukturunternehmen (vgl. Abbildung 16).

Durch eine Vernetzung der einzelnen FAS können weitere betriebliche Situationen im Eisenbahnbetrieb effizienter gestaltet werden. Diese sind im Folgenden:

- Blockabschnittsräumung
- Folgefahrt bzw. Nachfahren (über einen langen Streckenabschnitt)
- Überholungen
- Zugkreuzung (auf eingleisigen Strecken)
- Fahrstraßenausschluss

Im ersten Fall können betriebliche Echtzeitdaten dazu genutzt werden, die Trajektorie eines einzelnen Zuges weiter zu optimieren, indem zum Beispiel ein Halt aufgrund eines belegten Blockabschnitts vermieden wird. Stattdessen werden über die Vernetzung der FAS und über die bekannten Fahrdaten des vorausfahrenden Zuges der Zeitpunkt für die Fahrtstellung des Signals vorausberechnet und ein Ausrollen eingeleitet, das den Zug ohne Halt zum richtigen Zeitpunkt bis zum Signal bringt, sodass direkt wieder beschleunigt werden kann (vgl. Abbildung 18).

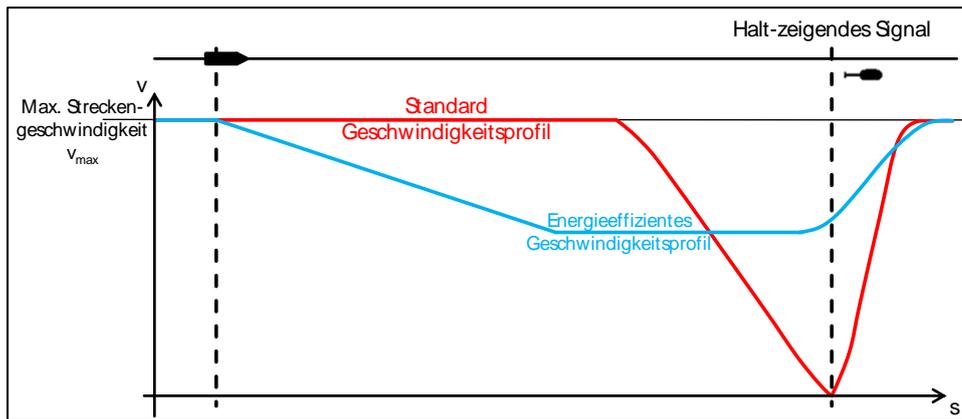


Abbildung 18: Schematische Darstellung der energieoptimierten Fahrweise im Fall der Blockabschnittsräumung (DLR)

Wie schon bei der Optimierung einer einzelnen Fahrtrajektorie kann bei dem hier beschriebenen Betrachtungsfall der Blockabschnittsräumung ebenfalls das Geschwindigkeitsprofil des hinteren Zuges auf eine energiesparende Fahrweise oder auf eine Fahrweise zum Verspätungsabbau angepasst werden. Eine untergeordnete, aber dennoch zu berücksichtigende, Rolle spielt die mögliche Kapazitätsmaximierung auf dem zu betrachtenden Streckenabschnitt. Grund hierfür ist der wegfallende Halt am Signal, eine daraus resultierende geringere Fahrzeit im entsprechenden Blockabschnitt sowie eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten auf dem zugehörigen Streckenabschnitt.

Der Ansatz für den Betrachtungsfall der Folgefahrt stellt einen Sonderfall zu der gerade beschriebenen Blockabschnittsräumung dar. Er kann wie folgt beschrieben werden. Bei einer längeren Folgefahrt kann im besten Fall eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten beider Züge durch vFAS erfolgen. Hierbei kann sowohl die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zuges erhöht werden, als auch die des nachfolgenden verringert werden. Es hängt in beiden Fällen von den zugspezifischen, fahrdynamischen Eigenschaften ab, welche Option präferiert wird. Beispielsweise muss die Geschwindigkeit des nachfolgenden Zuges verringert werden, wenn der vordere Zug keine Geschwindigkeitsreserven aufweist, um schneller zu fahren. Liegen beim vorderen Zug jedoch noch Reserven vor und hat der hintere Zug eine höhere Ladungsmasse, kann es sinnvoller sein, den vorderen Zug zu beschleunigen, damit der schwerere Zug nicht anhalten muss.

Wird der Gedanke der soeben beschriebenen Betrachtungsfälle konsequent zu Ende gedacht, kann es betrieblich sinnvoller sein, einen Reihenfolgetausch der Züge vorzunehmen. Zwei Züge folgen sich kontinuierlich auf einem Streckenabschnitt. In dem Moment wo ein Reihenfolgetausch sinnvoll wird, z. B. bei einem regulären Halt des vorausfahrenden Zuges und dieser seine Geschwindigkeit reduzieren muss, kann auch hier der nachfolgende Zug seine Geschwindigkeit durch energetisches Ausrollen vermindern. Zu dem

prognostizierten Zeitpunkt an dem der vorausfahrende Zug in das Überholgleis geleitet wird und die Fahrstraße wieder aufgelöst ist, kann der nachfolgende Zug wieder beschleunigen. Einen weiteren Sonderfall stellt dann die energiesparende Fahrweise dar. Hier muss durch den durchgeführten Reihenfolgetausch darauf geachtet werden, dass der hintere Zug keinen Nachteil hinsichtlich des neuen vorausfahrenden Zuges hat. Dieser kann in Abhängigkeit seiner maximalen Geschwindigkeit und der anberaumten Haltezeit des zu überholenden Zuges nur eine vom System zu ermittelnde Zeit zur Optimierung seiner Fahrtrajektorie nutzen.

Im Falle, dass der Zug, welcher überholt wurde, der schnellere der beiden Züge ist, kann, wie es bei der Eisenbahnbetriebswissenschaft üblich ist, ein Optimum der Leistungsfähigkeiten ermittelt werden. Ebenso kann eine solche Überholung einen Vorteil zum Verspätungsabbau bieten.

Gerade auf eingleisigen Strecken wird der Anwendungsfall der Zugkreuzungen relevant (vgl. Abbildung 19). Voraussetzung hierfür sind Überleitstellen bzw. Überholbahnhöfe, welche diese Eingleisigkeit temporär auf eine Zweigleisigkeit ausweiten. Begegnen sich zwei Züge auf einer eingleisigen Strecke, so müssen die Kreuzungen zwangsweise in einem Bahnhof oder einem zweigleisigen Streckenabschnitt stattfinden, damit ein Dead-lock vermieden wird.

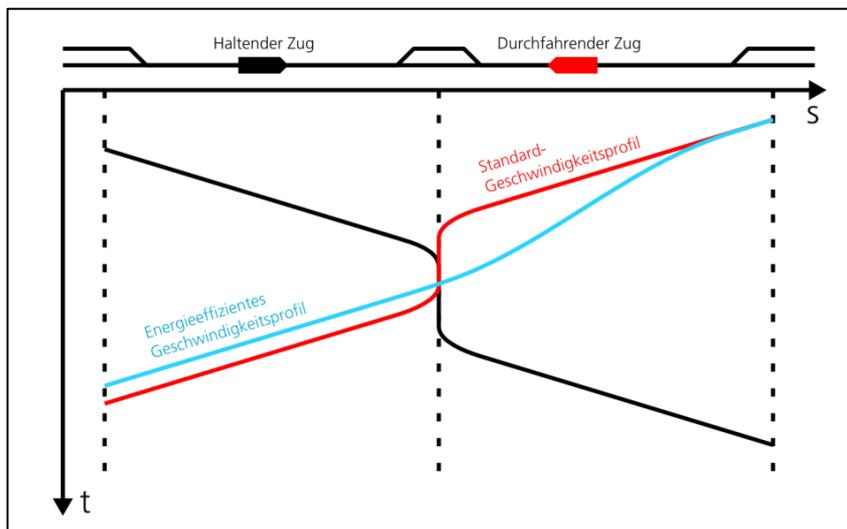


Abbildung 19: Schematische Darstellung einer energieoptimierten Zugkreuzung (DLR)

Als letzter Betrachtungsfall soll das Weichenvorfeld an einem Bahnhof dienen. Da hier über die Sicherungstechnik insbesondere über die Fahrstraßenlogik und die entsprechenden Verschlussregister nur bestimmte Fahrstraßen möglich sind, kann ein vFAS auch hier einen Anreiz vor allem für die Kapazitätsmaximierung bieten. Durch die Vernetzung und die Informationen über die jeweiligen Zugfahrten in einem Bahnhofsvorfeld besteht unter

anderem die Möglichkeit einer frühzeitigen Fahrstraßenauflösung. Diese frühzeitige Auflösung muss die jeweiligen Restriktionen aus der Sicherungstechnik (z. B. Flankenschutz) weiterhin berücksichtigen. Darauf aufbauend kann es möglich sein, weitere Zugfahrten zu planen und zuzulassen.

Bei allen bisherigen Betrachtungsfällen sind wir von einem 2-Zug-Modell ausgegangen. Jedoch bietet der letzte Fall die Möglichkeit, auch ein Mehrzugmodell und ein damit von Niebel in [12] beschriebenes 3-Zug-Modell zu betrachten. Dadurch kann das sogenannte Zacken-Lücken-Problem berücksichtigt werden.

Eine Zusammenfassung der betrieblichen Situation mit den entsprechenden Zielen ist in nachfolgender Tabelle 7 dargestellt.

Betriebliche Situation	FAS	vFAS	Energiesparen	Verspätungsabbau	Kapazitätsmaximierung
Opt. Fahrtrajektorie	X	-	X	(X)	-
Blockabschnittsräumung	-	X	X	X	(X)
Folgefahrt / Nachfahren	-	X	X	-	X
Zugüberholung	-	X	(X)	X	X
Zugkreuzung	-	X	(X)	X	-
Fahrstraßenausschluss	-	X	(X)	(X)	X

„X“ = direkter Einfluss; „(X)“ = indirekter Einfluss; „-“ = kein Einfluss

Tabelle 7: Betriebliche Situationen mit angestrebten Optimierungszielen

In der Regel werden die aktuellen FAS ausschließlich für die Optimierung der eigenen Fahrtrajektorie zur Energieeinsparung verwendet. Im Falle von Verspätungen wird jedoch oftmals versucht, diese um jeden Preis wieder abzubauen. Dennoch kann es möglich sein, dies mit einer gleichzeitig energieeffizienten Fahrweise zu kombinieren. Darüber hinausgehende Effekte wie die Maximierung der Leistungsfähigkeit in einem Eisenbahnnetz können jedoch nur durch vFAS erzielt werden, da hierfür zusätzliche Informationen für eine optimale Fahrweise notwendig sind.

4 Potenziale

Um abschätzen zu können, ob sich der Aufwand für eine Vernetzung der Fahrerassistenzsysteme untereinander und mit der Infrastruktur betrieblich lohnt, wird im Folgenden eine erste Analyse der Potenziale. Die Analyse soll hierfür in zwei Schritte gegliedert werden: Zuerst erfolgt eine qualitative Beschreibung des betrieblich schlechtesten Falls ohne Fahrerassistenz (*worst case*) und des Idealfalls, wenn eine vernetzte Fahrerassistenz größtmöglich optimiert hat (*best case*). Zusammen mit der angenommenen Häufigkeit der in Tabelle 7 beschriebenen betrieblichen Situationen erfolgt eine Vorauswahl der erfolgversprechendsten Szenarien. Diese werden danach im zweiten Schritt quantitativ in einer

Simulation auf ihre Wirkung untersucht. Hierbei wird noch keine dynamische Fahrerassistenz simuliert, sondern es werden jeweils *worst case* und *best case* verglichen.

Die Ergebnisse der durch Expertenbefragungen erfolgten qualitativen Beurteilung sind in Tabelle 8 dargestellt.

	worst case	best case	theor. Potenzial	Häufigkeit
Optimierung Fahrtrajektorie	Verspätung/hoher Energieverbrauch	Pünktlich und energieoptimal	mittel	kontinuierlich
Blockabschnittsräumung	Zughalt	Durchfahrt mit verringerter Geschwindigkeit	hoch	oft
Zugkreuzung	Beide Züge halten	Ein Zug kann ohne Halt durchfahren	mittel	mittel
Zugüberholung	Überholter Zug muss anhalten	Fliegende Überholung mit verringerter Geschwindigkeit	mittel	selten
Folgefahrt / Nachfahren	Zughalt	Folgefahrt mit angepasster Geschwindigkeit ohne Halt	hoch	mittel
Fahrstraßenabschluss	Zughalt	Durchfahrt mit verringerter Geschwindigkeit	mittel	mittel

Tabelle 8: Qualitative Beschreibung der im Einsatz von vFAS erwarteten Potenziale

Anhand der qualitativen Potenzialabschätzung wurden die betrieblichen Situationen “Optimierung Fahrtrajektorie”, “Blockabschnittsräumung” und “Folgefahrt / Nachfahren” als erfolgversprechend ausgewählt. In dieser Studie wird nachfolgend ausschließlich die Folgefahrt simuliert, um Potenziale der Vernetzung von FAS zu ermitteln. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Folgefahrt vorgestellt.

Die Berechnungen wurden in einer synchronen Simulation mit einer mikroskopischen Berechnung der Zugdynamik als Masseband auf einer detaillierten, aber generischen Infrastruktur durchgeführt. Um auch leistungssteigernde Effekte analysieren zu können, wurden mehrere Streckenabschnitte um die Konfliktstelle herum betrachtet.

Es wurden zwei Szenarien betrachtet:

- GSS: Zugfolge Güterzug (100 km/h) – S-Bahn (140 km/h) – S-Bahn (140 km/h)
- GGG: Zugfolge Güterzug (80 km/h) – Güterzug (100 km/h) – Güterzug (100 km/h)

Für beide Szenarien wurden Fälle ohne FAS und mit vFAS betrachtet, wobei jeweils sowohl eine Optimierung nach maximaler Streckenkapazität bzw. minimaler Zugfolge und eine Optimierung nach minimalem Energieverbrauch untersucht wurden. Ziel war es, ein wiederholtes Beschleunigen und Abbremsen an den Blocksignalen zu verhindern, das bei nicht assistierter Fahrweise durch die Geschwindigkeitsdifferenzen entsteht. Ermittelt

wurden die realisierten Energieverbräuche (aus Beschleunigungen und Fahrtwiderständen) und Zugfolgezeiten auf einer Strecke von 5 km im eingependelten Zustand (zwischen km 17 und km 22 in den Abbildungen 6 bzw. 7) für folgende Zugtypen:

- S-Bahn: Langzug aus 3x BR 423, Masse 330 t, 7050 kW Leistung
- Güterzug: Länge 428 m, Masse 1770 t, 5600 kW Leistung

Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.

GSS	manuell	vFAS maxKap	vFAS minEne
Energieverbrauch	142,4 kWh	114,9 kWh	9,9 kWh
Zugfolgezeit	116,0 s/107,0 s	116,0 s/103,7 s	126,3 s/126,2 s

Tabelle 9: Energieverbräuche und Zugfolgezeiten im Szenario GSS

GGG	manuell	vFAS maxKap	vFAS minEne
Energieverbrauch	234,2 kWh	229,2 kWh	21,4 kWh
Zugfolgezeit	171,8 s/168,0 s	168,4 s/164,8 s	208,7 s/210,0 s

Tabelle 10: Energieverbräuche und Zugfolgezeiten im Szenario GGG

Es ist ersichtlich, dass bereits bei der Optimierung für eine maximale Kapazität geringe Energieeinsparungen erzielt werden können. Die erreichbaren Kapazitätsgewinne sind allerdings mit ca. 3 s verringerter Zugfolgezeit nur gering. Die Optimierung auf einen minimalen Energieverbrauch führt dagegen zu einer signifikant erhöhten Zugfolgezeit. Dafür lässt sich durch das vFAS ein Auflaufen auf den vorhergehenden Zug vollständig vermeiden. Der Energieverbrauch auf dem betroffenen Streckenabschnitt (5 km) sinkt drastisch, um jeweils ca. 90 %. Eventuelle Gewinne aus einer Rekuperation beim Bremsen wurden hierbei nicht betrachtet, da sich die diesbezüglichen Möglichkeiten stark zwischen unterschiedlichen Fahrzeugtechnologien unterscheiden.

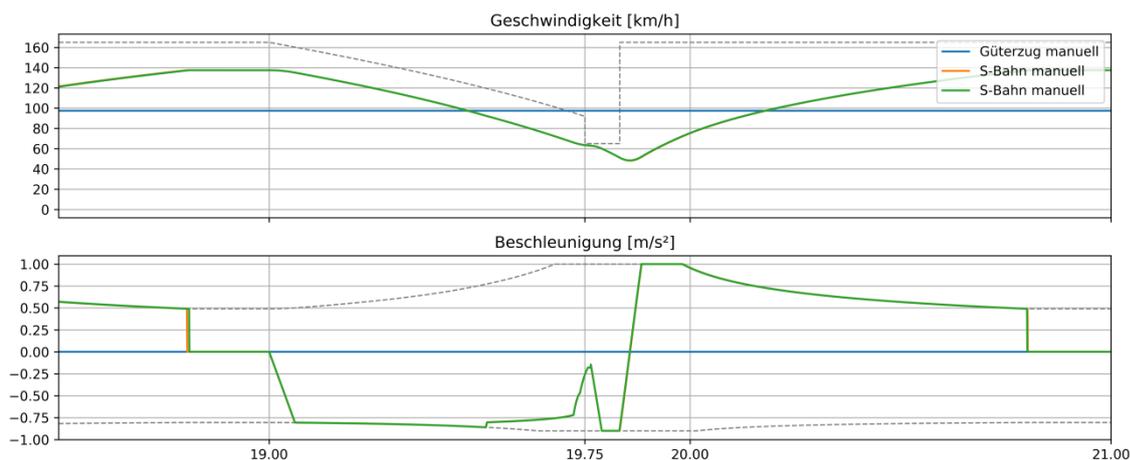


Abbildung 20: Geschwindigkeit und Beschleunigung im Szenario GSS an einem haltzeitigen Blocksignal im nicht assistierten Fahrmodus

Abbildung 20 zeigt den Verlauf des Geschwindigkeits- (oben) und Beschleunigungsprofils (unten) an einem Blocksignal, wenn die Folgezüge ohne vFAS auf den vorausfahrenden Zug auflaufen und stark abbremsen müssen. Die beiden S-Bahnen weisen hierbei eine nahezu identische Fahrtrajektorie für den nicht optimierten Anwendungsfall auf (grüne und rote Fahrtrajektorie in Abbildung 20).

Es konnte gezeigt werden, dass eine dynamische Reaktion auf den vorausfahrenden Zug entweder einen stabilen Betrieb bei minimaler Zugfolge oder Energieeinsparungen im Bereich von 90 % je Blocksignal bei verringerter Streckenkapazität ermöglicht.

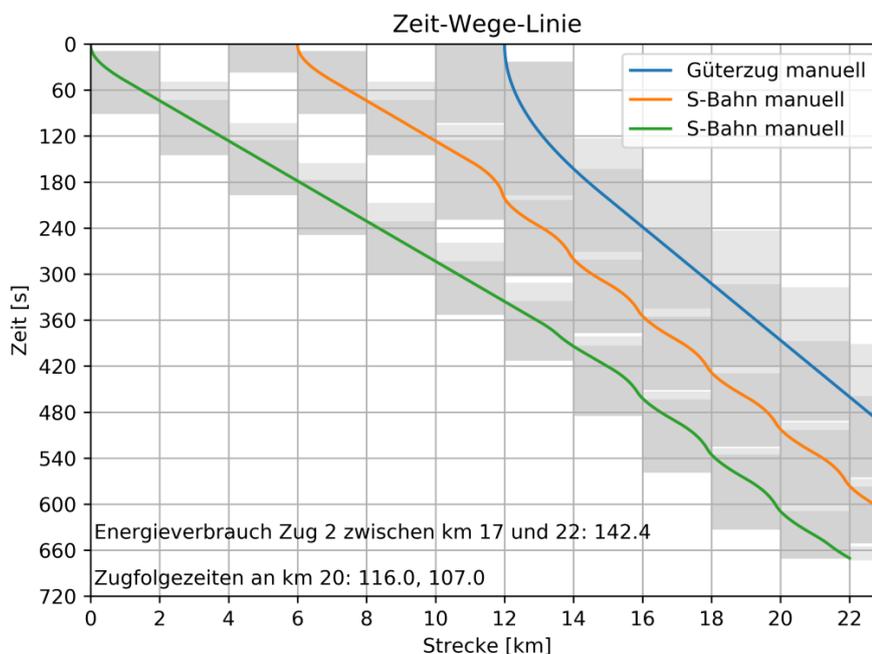


Abbildung 21: Zeit-Wege-Linien im Szenario GSS im nicht assistierten Fahrmodus

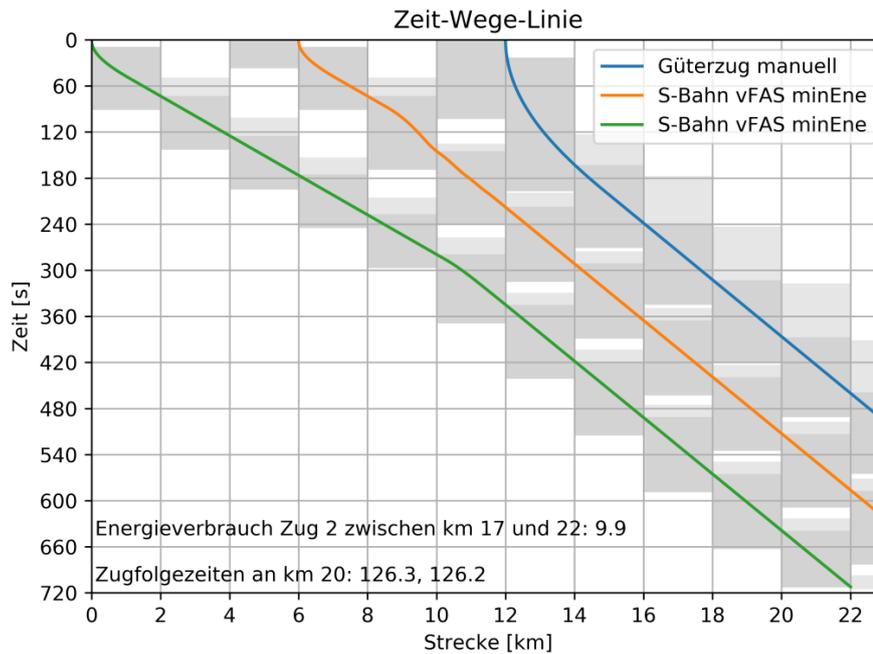


Abbildung 22: Zeit-Wege-Linien im Szenario GSS beim Einsatz von vFAS

In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Zeit-Wege-Linien des Szenarios GSS in den Modi ohne FAS und mit vFAS (energieoptimiert) abgebildet.

5 Fazit und Ausblick

Die zunehmende Digitalisierung der Schiene bietet im Bereich der Fahrerassistenzsysteme die Möglichkeit, bei der Fahrempfehlung neben einer reinen Optimierung der Fahrtrajektorie eines Fahrzeuges noch weitere Aspekte zu berücksichtigen.

Durch die Nutzung zusätzlicher Daten können potenziell die Betriebsabläufe in komplexen Situationen des Bahnbetriebs vorausschauend optimiert und so Betriebsbehinderungen vermieden werden, was wiederum positive Auswirkung auf die Streckenkapazität hat. Es können sowohl der Energieverbrauch als auch die Lärmemissionen und der Verschleiß durch unnötige Bremsvorgänge verringert werden.

Erste Simulationen haben beispielhaft gezeigt, dass es hier Potenzial gibt und es sinnvoll erscheint, diesen Ansatz weiter zu untersuchen. Beispielsweise müssen Fragen zur Datenverfügbarkeit und -qualität geklärt werden. Um eine weitere Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zu ermöglichen, ist es erforderlich, entsprechende Schnittstellen für die Kommunikation zwischen den einzelnen Zügen mit der Leitstelle und ggf. auch mit der Infrastruktur zu definieren [13]. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Wirksamkeit von vFAS ist die Akzeptanz des Systems durch die Tf. Nur bei einer hohen Befolgungsrate der Fahrempfehlungen können die Verbesserungen greifen. Aber auch hier können

mehr Informationen über das Betriebsgeschehen dazu beitragen, die Transparenz der Fahrempfehlungen und damit auch die Akzeptanz beim Tf zu erhöhen.

Weitere Simulationen und Kosten/Nutzen Betrachtungen sollen zeigen, auf welchen Strecken der Einsatz von vFAS eine kurz- bis mittelfristige Möglichkeit ist, die Qualität des Bahnbetriebes zu verbessern.

6 Literaturverzeichnis

- [1] DB NETZ AG: *Grüne Funktionen der Zuglaufregelung - Unterstützung einer energiesparenden Fahrweise durch Echtzeit-Betriebsdaten der DB Netz AG*. 2018
- [2] SBB: *The swiss way to capacity optimization for Traffic Management – Rail Control System Adaptive Lenkung (RCS ADL)*. 2018
- [3] BICKELL, David: *Thameslink signalling update*. 2017
- [4] LAGOS, Mario: *Cato offers energy savings, 2015*. 2015
- [5] DB KOMMUNIKATIONSTECHNIK GMBH: *FASSI-System - Energieeffizienz, Ökologie, Pünktlichkeit*. 2014
- [6] KERWIEN, Daniel ; STEINBRINK, Gernot ; REIHER, Patrick ; KRIMMLING, Jürgen: *Innovative und energieoptimale Zugsteuerung mit DatNet und smartrains*. In: *Der Eisenbahningenieur (EI)* (2017)
- [7] SCHUMANN, Tilo: *Next Generation Operation: Energieeffizienter Bahnbetrieb Assistenzsysteme für den Triebfahrzeugführer zum energiesparsamen Fahren*. 2010
- [8] MRK MANAGEMENT CONSULTANTS GMBH: *Marktüberblick Fahrerassistenzsysteme*. 2018
- [9] KOOPMANN, Vera ; SCHUMANN, Tilo: *Leiser an der Bahnstrecke*. In: *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Magazin; ISSN 2190-0094* (2016), Nr. 149, S. 46–47
- [10] KRIMMLING, Jürgen: *Fahrerassistenzsysteme zum energiesparenden Fahren* (Vortrag zur mofair Vorstandssitzung). Berlin, 17.01.2018
- [11] MCKINSEY & COMPANY: *Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW - Zusammenfassung der Ergebnisse*. URL https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/machbarkeitsstudie-digitalisierung-schiene.pdf?__blob=publicationFile
- [12] NIEBEL, NORA; NIEBEN, NILS: *Berücksichtigung des Zacken-Lücken-Problems bei der analytischen Kapazitätsermittlung*. In: *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)* (2014), Nr. 12, S. 34–37
- [13] ALLIANZ PRO SCHIENE E.V.: *Empfehlungen für eine breitere Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen im schienengebundenen Verkehr*. 2018

Autoren



Dr.-Ing. Meirich, Christian (Vortragender / deutsch)

Dr.-Ing. Christian Meirich beendete 2011 sein Bauingenieurstudium an der RWTH Aachen mit einem Diplom. Er promovierte 2017 am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Bereich der Eisenbahnbetriebswissenschaften. Seit August 2017 arbeitet er am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt am Institut für Verkehrssystemtechnik. Sein Arbeitsschwerpunkt liegt dort im Bereich der Verkehrsbeurteilung und insbesondere in der Angebotsplanung und den betrieblichen Fragestellungen des Eisenbahnbetriebs. Durch seine derzeitige Mitarbeit in der Arbeitsgruppe AG CYSIS der DB AG wirkt er an zukünftigen sicherheitsrelevanten Fragestellungen im Bereich Bahn am Wissenstransfer nach außen mit.

Position

Gruppenleiter „Angebotsplanung und Betrieb“ in der Abteilung „Bewertung des Verkehrs“

Adresse

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Verkehrssystemtechnik; Lilienthalplatz 7; 38108 Braunschweig



Dipl.-Ing. Flamm, Leander

Dipl.-Ing. Leander Flamm erlangte 2016 das Diplom des Verkehrsingenieurwesens an der TU Dresden. Nach Tätigkeit am CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik in Dresden arbeitet er seit September 2017 am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt am Institut für Verkehrssystemtechnik. Dort beschäftigt er sich vorrangig mit der Aufstellung und Simulation von Bahnbetriebskonzepten sowie der Digitalisierung und Automatisierung des Bahnbetriebs.

Position

Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe „Angebotsplanung und Betrieb“ in der Abteilung „Bewertung des Verkehrs“

Adresse

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Verkehrssystemtechnik; Lilienthalplatz 7; 38108 Braunschweig



Prof. Dr.-Ing. Krimmling, Jürgen

Prof. Dr. –Ing. Jürgen Krimmling studierte und promovierte in den 1970iger Jahren an der Hochschule für Verkehrswesen in Dresden. Danach war er in verschiedenen Industrieunternehmen tätig. Von 2004 bis zu seiner Emeritierung Ende März 2019 leitete er die Professur für Verkehrsleitsysteme und -Prozessautomatisierung an der TU Dresden und beschäftigte sich in dieser Funktion in Lehre und Forschung mit der Verkehrstelematik. Seit 2014 ist Prof. Krimmling als geschäftsführender Gesellschafter der INAVET GmbH tätig und wirkt in dieser Funktion unter anderem an Fahrerassistenzsysteme zum Energie sparenden Fahren mit.

Position

Geschäftsführender Gesellschafter der INAVET GmbH

Adresse

INAVET - Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH
Einsteinstr. 4; 01069 Dresden/Germany



Dr.-Ing. Bärbel Jäger

Frau Dr. Bärbel Jäger studierte und promovierte an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden. Danach war sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität „Otto von Guericke“, Magdeburg tätig. Von 1991 bis 2001 arbeitete sie bei der Siemens AG, Bereich Mobility. Seit 2001 ist Fr. Dr. Jäger in leitenden Funktionen im DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik, tätig. Fachliche Schwerpunkte sind u. a. betriebliche Fragestellungen sowie die Auswirkungsanalyse neuer Technologien auf Bahnbetrieb und Kosten und die Bewertung der damit verbundenen Potenziale. Sie ist u. a. stellvertretende Sprecherin des Fachbeirates Bahntechnik des VDI.

Position

Abteilungsleitung „Bewertung des Verkehrs“

Adresse

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Verkehrssystemtechnik; Lilienthalplatz 7; 38108 Braunschweig