

Betriebskonzepte zur Integration von autonomen Kleinfahrzeugen in den Eisenbahnbetrieb

Morast, Albrecht¹, Hampel, Fabian², Laumen, Peter¹, Nießen, Nils¹,
Schindler, Christian², Schlaht, Jürgen³

¹Verkehrswissenschaftliches Institut, RWTH Aachen

²Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme, RWTH Aachen

³Siemens Mobility GmbH

In dem vorliegenden Artikel werden Betriebskonzepte mit autonomen Schienenfahrzeugen beschrieben. Dabei wird zwischen Artreinem Verkehr und Mischverkehr unterschieden. Während beim Artreinen Verkehr ausschließlich autonome Schienenfahrzeuge die Eisenbahninfrastruktur nutzen, operieren im Mischverkehr neben den autonomen Schienenfahrzeugen weiterhin die herkömmlichen mit Triebfahrzeugführern besetzten Züge.

Keywords: Eisenbahnbetrieb, Migrationskonzepte, Fahrerloses Fahren

1 Einleitung und Ausgangslage

Der Schienenverkehr bietet durch die Systemeigenschaft der Spurführung prinzipiell gute Voraussetzungen für die Automatisierung des Betriebs. Heutzutage übernimmt der Mensch bzw. Triebfahrzeugführer normalerweise eine Vielzahl von Tätigkeiten während einer Zugfahrt. Bereits vorhandene Technologien wie die Linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) oder das European Train Control System (ETCS) ermöglichen teilautomatisiertes Fahren unter Aufsicht und Eingriffsbereitschaft des Triebfahrzeugführers [1]. In U-Bahnsystemen, wie in Nürnberg [2], oder bei Flughafenbahnen, u. a. in Frankfurt am Main [3], kann bereits gänzlich auf das Fahrpersonal verzichtet werden. Bei der Eisenbahn gehört das fahrerlose Fahren allerdings noch nicht zur gegenwärtigen Betriebsdurchführung. Lediglich einzelne Bahnen in Brasilien und Australien nutzen für den Mienenverkehr komplett fahrerlos automatisierte Systeme [4].

Die Bundesregierung sieht die Verkehrsverlagerung auf die Schiene als einen „zentralen Baustein zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele“ [5]. Um die Verlagerung auf die Schiene voranzutreiben, bedarf es unter anderem einer besseren Ausnutzung

der Infrastruktur mit mehr Zugfahrten. Dem gegenüber steht allerdings ein zunehmender Fachkräftemangel an Triebfahrzeugführern. Eine Lösungsmöglichkeit stellen fahrerlose Triebwagen dar. Durch die Digitalisierung und Sensortechniken wäre es möglich, dass diese Fahrzeuge sich autonom auf der Strecke fortbewegen. Dies ermöglicht und erfordert neue Betriebsweisen des Schienenverkehrs.

Ein „fahrerloser Triebwagen“, in Abbildung 1 dargestellt, ist ein innovatives Schienenfahrzeug, das autonom und somit ohne Fahrer verkehrt. Mit dem kompakten, einteiligen Fahrzeug ist eine hohe Flexibilität des Fahrzeugeinsatzes möglich. Aufgrund der fehlenden Notwendigkeit von Triebfahrzeugführern ergeben sich weitere Vorteile: Bei sinkenden Betriebskosten kann das Verkehrsangebot gerade im Regionalverkehr mit fahrerlosen Triebwagen, die mit Automatisierungstechnologie auszustatten sind, ausgeweitet werden [6]. Dadurch kann der Betrieb auch zu Tagesrandzeiten individuell aufrechterhalten werden und die Attraktivität des Verkehrsträgers Schiene wird gestärkt.

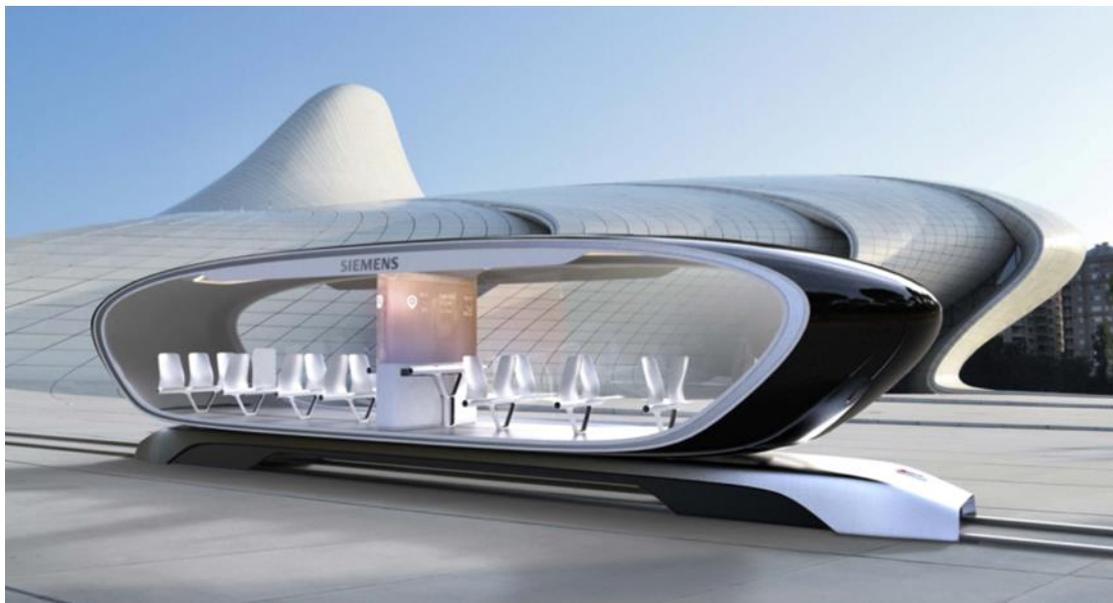


Abbildung 24: Designstudie eines autonomen Kleinfahrzeugs
(© Siemens Mobility GmbH)

Ein Einsatz der fahrerlosen Triebwagen ist sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr möglich. In diesem Artikel liegt die Betrachtung auf Betriebskonzepten im Schienenpersonennahverkehr. Betriebskonzepte für den Verkehr mit ausschließlich autonomen Fahrzeugen werden als *Artreiner Verkehr*, Betriebskonzepte in Kombination mit konventionellen Fahrzeugen als *Mischverkehr* bezeichnet.

2 Betriebskonzepte

In diesem Kapitel werden zunächst die Schutzfunktionen im Eisenbahnwesen beschrieben (2.1), bevor vier beispielhafte Betriebskonzepte aus dem Artreinen Verkehr (2.2) sowie drei aus dem Mischverkehr (2.3) für Nebenbahnen vorgestellt werden. Zukünftig sind mehr als die vorgestellten Betriebskonzepte im Eisenbahnbetrieb denkbar. Die Varianten stellen lediglich einen Auszug der Konzepte mit teilweise deutlichen Unterschieden dar.

2.1 Schutzfunktionen im Eisenbahnwesen

Das Unfallrisiko auf der Straße ist im Vergleich zum Schienenverkehr mit Faktor 133 wesentlich höher [7]. Zum Erreichen des hohen Sicherheitsniveaus sind im Schienenverkehr notwendige Schutzfunktionen vorzusehen. Diese können entweder infrastruktur- oder fahrzeugseitig realisiert werden. Tabelle 1 zeigt die notwendigen Schutzfunktionen [8] mit ihren fahrzeug- bzw. infrastrukturseitigen Lösungen. Für die Einhaltung bestimmter Schutzfunktionen gibt es Komponenten, die als zwingende Voraussetzung angenommen werden müssen; diese sind in der Tabelle mit „X“ gekennzeichnet. Ergänzende, optionale Lösungen sind mit „(X)“ angegeben. Beispielsweise kann der „Folgefahrschutz“ infrastrukturseitig durch die Sicherungslogik der Signaltechnik in Kombination mit festen Gleisabschnitten (Blöcken) realisiert werden. Eine Gleisfreimeldung kann dabei ergänzend noch vorhanden sein. Nicht jede Anwendung erfordert alle als „zwingende Voraussetzung“ markierten Lösungen. Sind zum Beispiel bei einem Betriebskonzept keine Bahnübergänge vorhanden, ist hierfür keine Lösung erforderlich. Ansonsten muss immer sichergestellt sein, dass jede Schutzfunktion durch mindestens eine infrastruktur- oder fahrzeugseitige Lösung abgedeckt wird. Historisch bedingt werden die meisten Schutzfunktionen infrastrukturseitig gelöst.

Tabelle 4: Verteilung der Schutzfunktionen auf Infrastruktur oder Fahrzeug

| Lösung Schutzfunktion | Infrastruktur | | | | | | | Fahrzeug | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|----------|--------------------------------|-----------------------------|--|
| | Einrichtungsbetrieb | Sicherungslogik | Gleisfreimeldung | Hinderniserkennung | Geschwindigkeits- erfassung | Keine beweglichen Fahrweegelemente | Keine Bahnübergänge | Überwachung durch Mensch | Sicherungslogik | Infrastrukturabbild | Sensorik | Geschwindigkeits- erfassung | Überwachung durch Mensch | Kommunikation fah- rerloser Triebwagen |
| Folgefahrerschutz | | X | (X) | | | | | | X | (X) | (X) | | (X) | (X) |
| Gegenfahrerschutz | X | X | (X) | | | | | | X | (X) | | | | (X) |
| Flankenschutz | | X | (X) | | | X | | | X | (X) | (X) | | | (X) |
| Schutz an niveaugleicher Kreuzung | | X | | X | | | X | X | X | | (X) | | X | |
| Sicherung beweglicher Fahrweegelemente | | X | | | | X | | (X) | X | | | | | |
| Schutz vor externen Objekten | | | | X | | | | X | X | | (X) | | X | |
| Geschwindigkeits- vorgabe | | X | | | | | | X | (X) | X | | | | |
| Geschwindigkeits- überwachung | | | | | X | | | | X | (X) | (X) | (X) | X | (X) |

Legende: X = Zwingende Voraussetzung
(X) = Ergänzung

2.2 Artreiner Verkehr

Im Artreinen Verkehr verkehren die fahrerlosen Triebwagen ausschließlich mit baugleichen Fahrzeugen auf einer für sie zugeschnittenen Infrastruktur. Die Verteilung der Lösungen der Schutzfunktionen auf Infrastruktur oder Fahrzeug kann somit frei gewählt werden, da keine Bestandsinfrastruktur oder Fahrzeuge bei einer Neuplanung berücksichtigt werden müssen. Es sind somit z. B. die Lösungen Automatic Train Operation (ATO) bzw. Communication Based Train Control (CBTC), wie es im Stadtverkehr üblicherweise angewendet wird, möglich.

In Abbildung 2 sind vier analysierte Betriebskonzepte des Artreinen Verkehrs dargestellt. Teilweise liegen sowohl fahrzeug- als auch infrastrukturseitig große Unterschiede zwischen den Konzepten vor.

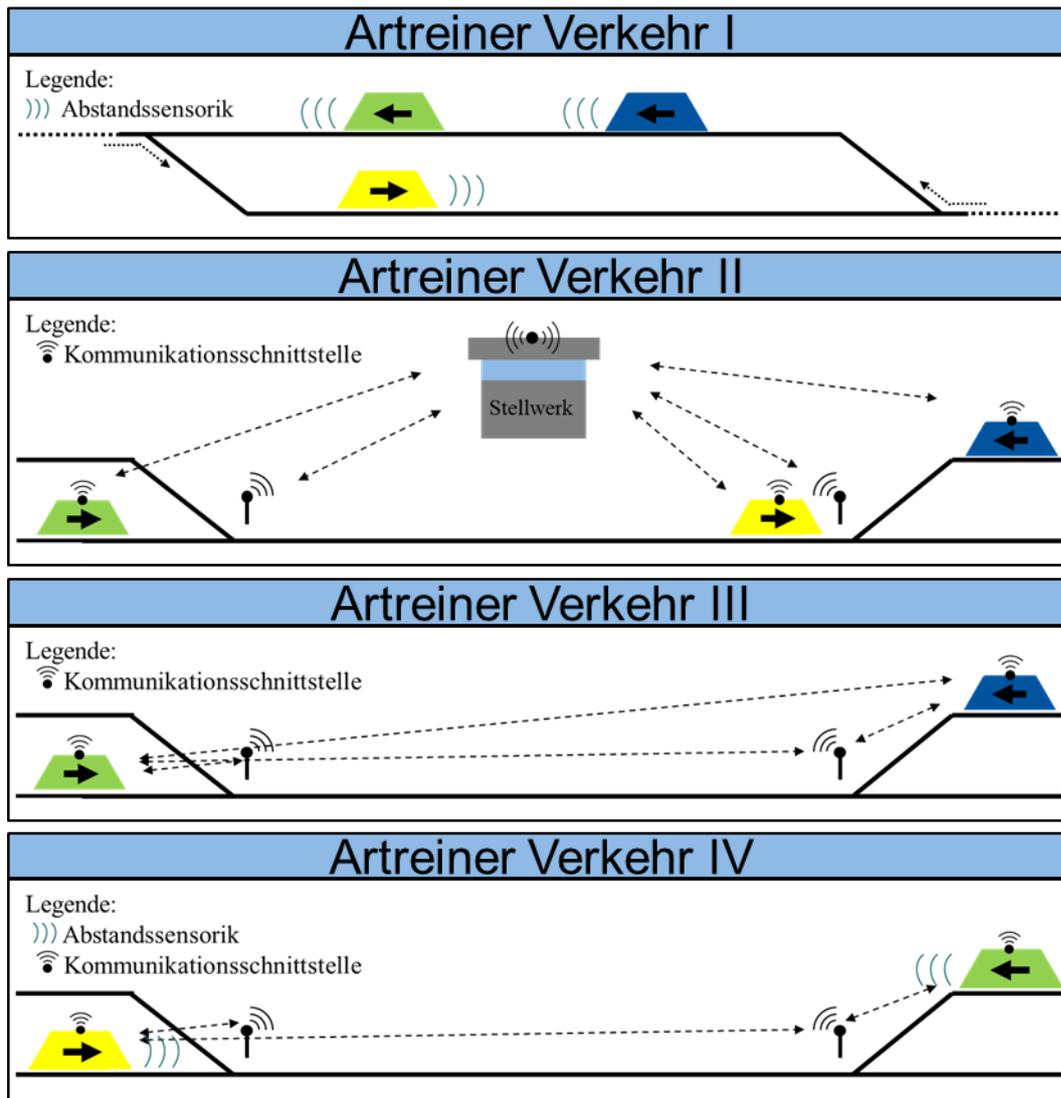


Abbildung 25: Übersicht über die Betriebskonzepte im Artreinen Verkehr

Bei den Betriebskonzepten Artreiner Verkehr II, III und IV bildet eine eingleisige Strecke die Grundlage. Dadurch muss eine Lösung für die Schutzfunktion „Gegenfahrtschutz“ realisiert werden. Bei der Variante Artreiner Verkehr I ist aufgrund der zweigleisigen Strecke kein Gegenfahrtschutz zu berücksichtigen, da das Prinzip des Einrichtungsbetriebs angewendet wird. An den Endpunkten können die fahrerlosen Triebwagen über Rückfallweichen wieder in die Gegenrichtung bzw. in angeschlossene Betriebsanlagen fahren. Bei dem Konzept kann nahezu auf jegliche infrastrukturseitige Leit- und Sicherungstechnik verzichtet werden, vergleichbar mit dem Zugleitbetrieb [9]. Weichen sind nur an den Endpunkten vorhanden, wodurch infrastrukturseitige Investitions- und Wartungskosten sinken. Eine Vielzahl der Schutzfunktionen wird mehrheitlich fahrzeugseitig realisiert.

Mittels Sensorik wird die Strecke auf systemeigene oder systemfremde Verkehrsteilnehmer bzw. Objekte geprüft. Bei systemeigenen Verkehrsteilnehmern wird der Bremswegabstand geregelt, bei systemfremden Objekten ggf. eine Bremsung eingeleitet. An den Endweichen wird sensorgestützt ein sicheres Wechseln in die Gegenrichtung ermöglicht.

Im Artreinen Verkehr wird lediglich bei dem Konzept Artreiner Verkehr II ein Stellwerk benötigt, wodurch viele Schutzfunktionen der Infrastruktur zugeordnet werden. Das Stellwerk, die fahrerlosen Triebwagen sowie die beweglichen Fahrwegelemente verfügen über eine drahtlose Kommunikationsverbindung. Dadurch erhalten die Fahrzeuge alle relevanten Informationen, wie beispielsweise die Bewegungserlaubnis bis zu einem Zielpunkt. Da bei dem Konzept auf eine ortsfeste Gleisfreimeldung verzichtet wird, muss die Positionsermittlung der Fahrzeuge anders erfolgen. Dies kann über satellitenbasierte Ortungssysteme (GNSS) geschehen. Die Fahrzeuge benötigen neben der drahtlosen Kommunikation Sensoren für die automatische Lichttraumfreimeldung.

Bei den beiden anderen Konzepten des Artreinen Verkehrs kann wiederum auf ein klassisches Stellwerk verzichtet werden, die Logik wird fahrzeugseitig realisiert. Bei dem Verfahren Artreiner Verkehr III sind die fahrerlosen Triebwagen gleich auszustatten wie bei Artreiner Verkehr II. Auch die beweglichen Fahrwegelemente benötigen wieder eine Kommunikationsschnittstelle. Dadurch können drahtlose Kommunikationsverbindungen zwischen den fahrerlosen Triebwagen untereinander sowie zwischen den fahrerlosen Triebwagen und den beweglichen Fahrwegelementen hergestellt werden. Eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen ist in diesem Betriebskonzept entscheidend, sodass die fahrerlosen Triebwagen eine Fahrerlaubnis untereinander aushandeln und freigeben. Eine Priorisierung der Fahrerlaubnis kann durch ein angegliedertes Dispositionssystem vorgegeben werden. Aufgrund der Kommunikationsverbindung sind die Fahrziele allen fahrerlosen Triebwagen bekannt, sodass unter Berücksichtigung der Bewegungswünsche die gegenseitige Koordination der Bewegungserlaubnisse erfolgt. Nach Aushandlung einer Fahrerlaubnis werden die zur Fahrt notwendigen Voraussetzungen, wie z. B. die richtige Lage der Fahrwegelemente, eingeleitet. Nach Sicherung kann dem Triebwagen die Fahrerlaubnis übermittelt werden, sodass dieser sich in Bewegung setzen kann.

Bei dem Betriebskonzept Artreiner Verkehr IV erhalten die fahrerlosen Triebwagen sowie die beweglichen Fahrwegelemente eine Kommunikationsschnittstelle. Allerdings besteht bei diesem Konzept nur eine Verbindung zwischen den Fahrzeugen und den beweglichen Fahrwegelementen. Eine Logik für den Gegenfahrerschutz muss infrastrukturseitig vorhanden sein. Wenn ein fahrerloser Triebwagen eine eingleisige Strecke befahren möchte, so muss er diese für sich reservieren. Dazu muss die Weiche am Ende der Strecke mit einer „Sperre“ versehen werden. Diese würde dann einem entgegenkommenden Fahr-

zeug die Einfahrt auf die Strecke verbieten. Die Anordnung der „Sperre“ auf der Infrastrukturseite ist notwendig, da die fahrerlosen Fahrzeuge nicht untereinander kommunizieren können. Die „Sperre“ kann somit nur über die Infrastruktur realisiert werden.

Im Artreinen Verkehr sind neuartige Betriebskonzepte und die Verteilung zwischen infrastrukturseitigen und fahrzeugseitigen Lösungen der Sicherheitsfunktionen grundsätzlich möglich. Stellwerke und ortsfeste Signale im klassischen Sinne müssen nicht Bestandteil des Systems sein. Die Digitalisierung bietet Potentiale der Informationsübertragung und technischer Ausgestaltung zur Durchführung sicherer Zugfahrten.

2.3 Mischverkehr

Im Mischverkehr ist zu berücksichtigen, dass die herkömmlichen Züge zusammen mit den fahrerlosen Triebwagen die Infrastruktur nutzen. Alle Züge, unabhängig ob mit oder ohne Triebfahrzeugführer, müssen die für eine Fahrzeugbewegung erforderlichen Informationen erhalten. Da die Konzepte des Mischverkehrs auf den Prinzipien des heutigen Eisenbahnbetriebs aufbauen, bleiben die grundlegenden betrieblichen Vorgehensweisen beibehalten. Daher sind ortsfeste Signale, ein Zugbeeinflussungssystem, eine ortsfeste Gleisfreimeldeanlage und Stellwerke vorhanden. Auf Basis dieser Grundlagen bauen die Betriebskonzepte des Mischverkehrs auf. Unabhängig von den Konzepten sind weiterhin die acht in Abschnitt 2.1 beschriebenen Schutzfunktionen einzuhalten.

Fahren im festen Raumabstand

Im heutigen Eisenbahnbetrieb wird die Schutzfunktion „Folgefahrschutz“ normalerweise durch das Fahren im festen Raumabstand angewendet. Dies bedeutet, dass sich in einem Blockabschnitt nur ein Zug befinden darf. Die Signale, die einen Blockabschnitt begrenzen, zeigen dem Triebfahrzeugführer an, ob der folgende Abschnitt befahren werden darf. Es wird unterstellt, dass diese durch das Stellwerk realisierte Sicherheitslogik bei den Konzepten für den Mischbetrieb weiterhin für die herkömmlichen Züge gilt. Bei den fahrerlosen Triebfahrzeugen kann von dieser Logik je nach Konzeptvariante jedoch abgewichen werden. Folgt z. B. ein fahrerloser Triebwagen einem konventionellen Zug, ist – je nach Betriebskonzept und technischer Fahrzeugausstattung – dieses Vorgehen nicht mehr zwingend einzuhalten.

Damit ein fahrerloser Triebwagen in einen besetzten Blockabschnitt fahren kann, muss er an einem Halt zeigenden Hauptsignal vorbeifahren. Ein Signal in Haltstellung bedeutet, dass nicht alle Bedingungen für eine Fahrt vorhanden sind. Ein Signal darf erst einen Fahrtbegriff anzeigen, wenn der davorliegende Blockabschnitt frei von Fahrzeugen ist und die Weichen für den Fahrweg in der richtigen Endlage liegen sowie verschlossen sind [10]. Bei den Hauptsignalen wird nun im Folgenden unterschieden, ob sich in den dazugehörigen Fahrstraßen

- a) bewegliche Fahrweegelemente wie Weichen befinden oder
- b) keine beweglichen Fahrweegelemente vorhanden sind.

Befinden sich hinter dem Hauptsignal bewegliche Fahrweegelemente, dürfen die fahrerlosen Triebwagen sowie die herkömmlichen Züge erst dann losfahren, wenn das Signal die Weiterfahrt freigibt. Dadurch wird die korrekte Weichenlage sichergestellt und die Fahrzeuge können nicht an den beweglichen Fahrweegelementen entgleisen.

Bei Hauptsignalen, zu denen Fahrstraßen ohne bewegliche Fahrweegelemente gehören, ist dagegen in einzelnen Betriebskonzepten eine Vorbeifahrt trotz des Haltbegriffs erlaubt. Dazu werden nachfolgend zwei Fälle beschrieben, bei welchen eine Vorbeifahrt für einen fahrerlosen Triebwagen an einem Halt zeigenden Signal ermöglicht wird.

Zum einen endet die Fahrerlaubnis erst an dem nächsten Signal, hinter dem sich bewegliche Fahrweegelemente befinden. Dies kann bei einer Ausfahrt aus einem Bahnhof das Einfahrtsignal am darauffolgenden Bahnhof sein. Die auf der freien Strecke befindlichen Blocksignale sind nicht mehr zu berücksichtigen, weil dort keine beweglichen Fahrweegelemente vorhanden sind. Nichtsdestotrotz muss in diesem wie auch in dem nächsten Fall nach Passieren des Halt zeigenden Signals der Bremswegabstand zwischen dem fahrerlosen Triebwagen und einem evtl. vorausfahrenden Fahrzeug eingehalten werden.

Zum anderen ist es möglich, dass die fahrerlosen Triebwagen den Signalbegriff erkennen und auswerten. Signale, an denen die fahrerlosen Triebwagen bei einem Haltbegriff vorbeifahren dürfen, erhalten zu dem bestehenden Mastschild ein zusätzliches Mastschild (in Abbildung 3 in blauer Farbe skizziert). Für das Erkennen der Signale benötigen die fahrerlosen Triebwagen eine geeignete Sensorlösung. Derartige Sensoren sind aktuell bereits in vielen Mittel- und Oberklasse-Pkw verbaut.

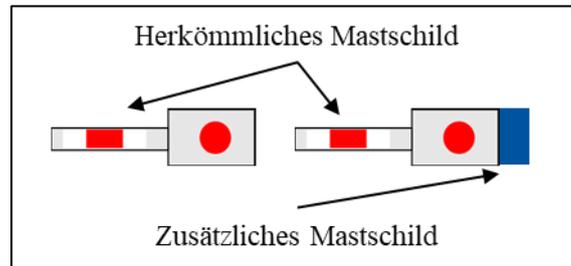


Abbildung 26: Signale mit herkömmlichem und zusätzlichem Mastschild

Anstatt des zusätzlichen Mastschildes ist es auch denkbar, eine Art Marker auf Infrarot-Basis zu verwenden. Dadurch wäre eine optische Erkennung der Mastschilder nicht mehr notwendig.

Betriebskonzepte im Mischverkehr

Aus der nachfolgenden Abbildung 4 sind drei Betriebskonzepte des Mischverkehrs zu entnehmen. Während sich vor allem die Ausstattungen der fahrerlosen Triebwagen unterscheiden, liegen infrastrukturseitig nur geringe Unterschiede vor.

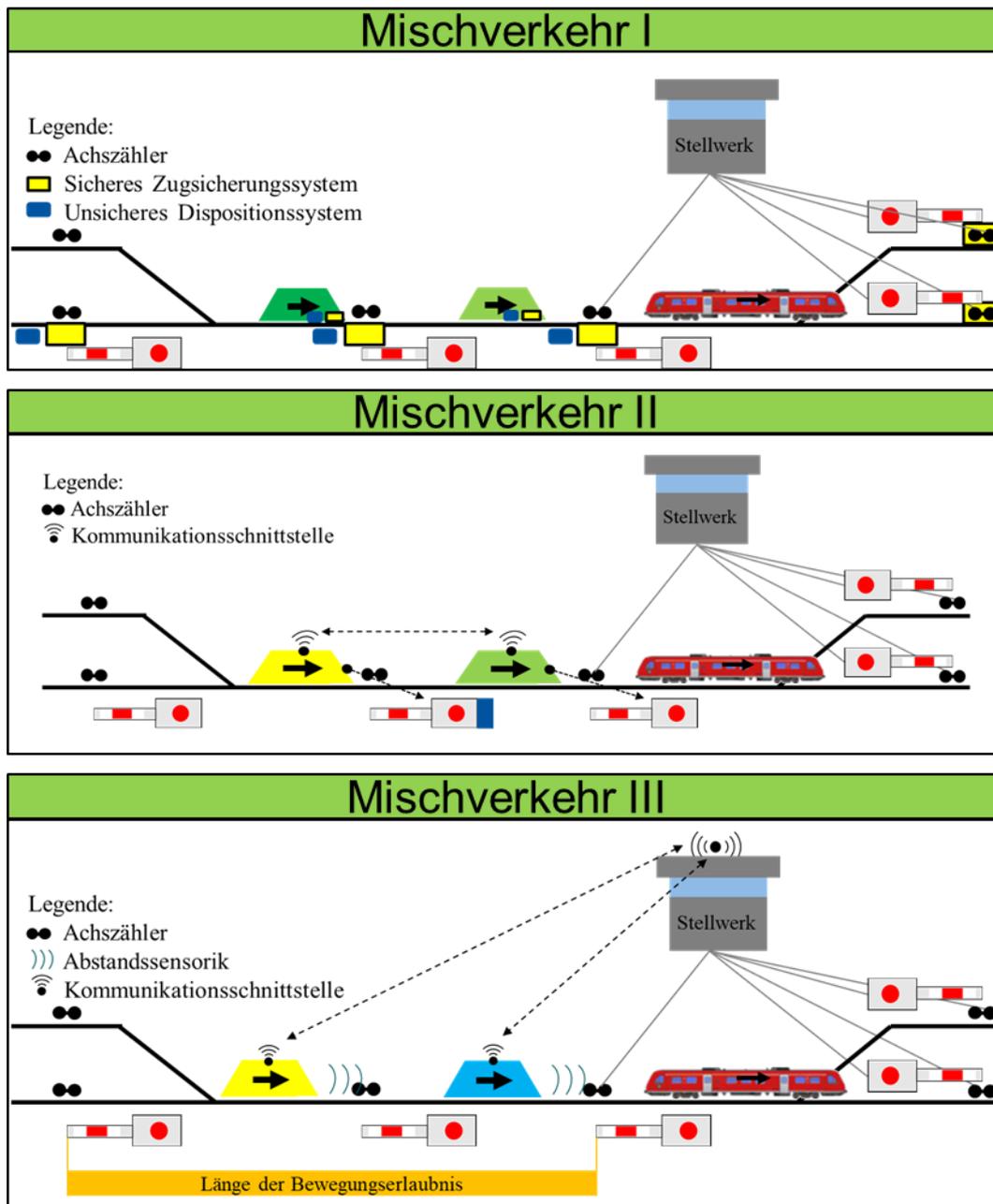


Abbildung 27: Übersicht über die Betriebskonzepte im Mischverkehr

Im ersten Betriebskonzept (Mischverkehr I) wird nicht zwischen den fahrerlosen Triebwagen und den herkömmlichen Zügen unterschieden. Alle Fahrzeuge folgen sich im fes-

ten Raumabstand und verwenden z. B. die punktförmige Zugbeeinflussung als Zugbeeinflussungssystem. Über die streckenseitig eingebauten Magnete des Zugbeeinflussungssystems erhalten die fahrerlosen Triebwagen die Information, ob das folgende Hauptsignal einen Haltbegriff anzeigt und die Geschwindigkeit daraufhin zu reduzieren ist. Da das hier verwendete Zugbeeinflussungssystem jedoch nur punktförmig wirkt, erhält ein vor einem Signal wartender fahrerloser Triebwagen unter Umständen nicht die Information, wann das Signal von einem Halt- in einen Fahrtbegriff wechselt. Daher ist vor dem Signal ein streckenseitiges Dispositionssystem erforderlich, das abschnittsweise kontinuierlich aufgebaut ist, beispielsweise wie das Euroloop-System beim ETCS. Das Dispositionssystem muss die Informationen aus dem Stellwerk abgreifen und dient somit als weitere Informationsquelle. Die fahrerlosen Triebwagen benötigen, wie bereits im Artreinen Verkehr beschrieben, zur Fahrwegbeobachtung Sensoren, um vor externen Objekten und systemfremden Verkehrsteilnehmern zum Stehen zu kommen.

Im Betriebskonzept Mischverkehr II nutzen die fahrerlosen Triebwagen nicht mehr das vorhandene Zugbeeinflussungssystem, um beispielsweise die Geschwindigkeit vor einem Halt zeigenden Signal anzupassen. Dagegen kommt bei der Variante das Verfahren mit den zusätzlichen, blauen Mastschildern zur Anwendung. Dazu sind die fahrerlosen Triebwagen mit einer technischen Signalerkennung sowie einer Kommunikationsschnittstelle auszustatten. Bei dem Zugfolgefall fahrerloser Triebwagen vor fahrerlosem Triebwagen ist eine Vorbeifahrt an einem in Haltstellung befindlichen Signal mit dem blauen Mast Schild möglich. In diesem Fall müssen die fahrerlosen Triebwagen sicher detektieren, ob sich im davor befindlichen Blockabschnitt ein anderer fahrerloser Triebwagen oder ein herkömmlicher Zug befindet. Dies erfolgt über die drahtlose Kommunikationsverbindung der fahrerlosen Triebwagen untereinander. Kann eine Verbindung zu dem vorausfahrenden Fahrzeug hergestellt werden, können die Fahrzustandsinformationen übertragen werden und eine Vorbeifahrt an dem Halt zeigenden Signal ist möglich. Befindet sich dagegen ein herkömmlicher Zug im Blockabschnitt, ist eine Vorbeifahrt an dem Signal nicht möglich. Dann muss der fahrerlose Triebwagen so lange auf seine Weiterfahrt warten, bis das Signal einen Fahrtbegriff anzeigt. Hierzu wird eine optische Signalerkennung verwendet. Da nur die fahrerlosen Triebwagen mit einer Kommunikationsschnittstelle ausgestattet sind, können nur diese in einen belegten Blockabschnitt einfahren.

Für das dritte hier vorgestellte Betriebsverfahren im Mischverkehr (Mischverkehr III) ist eine direkte Kommunikationsverbindung zwischen den herkömmlichen Stellwerken und den fahrerlosen Triebwagen notwendig. Die fahrerlosen Triebwagen benötigen bei dem Konzept neben der Kommunikationsschnittstelle zusätzlich eine Abstandssensorik. Damit ein fahrerloser Triebwagen an einem Halt zeigenden Signal vorbeifahren kann, wird bei dem Verfahren die bereits vorgestellte Möglichkeit einer Bewegungserlaubnis bis zu einem Zielsignal angewendet. Darf ein fahrerloser Triebwagen beispielsweise an einem

Ausfahrtsignal losfahren, erhält er über die Kommunikationsschnittstelle vom Stellwerk die entsprechende Bewegungserlaubnis mitgeteilt. Diese reicht bis zu dem ersten Signal, hinter dem sich bewegliche Fahrwegelemente befinden. Daher sind die Blocksignale nur für die herkömmlichen Züge zu berücksichtigen, wodurch die fahrerlosen Triebwagen an den Blocksignalen ohne Halt vorbeifahren dürfen. Dadurch können bei der Zugfolge fahrerloser Triebwagen vor fahrerlosem Triebwagen sowie herkömmlicher Zug vor fahrerlosem Triebwagen mehrere Züge in demselben Blockabschnitt verkehren. Durch die Abstandssensorik, mit welcher die fahrerlosen Triebwagen ausgestattet sind, wird die Schutzfunktion Folgefahrerschutz gewährleistet, indem andere Fahrzeuge erkannt werden und das Fahrverhalten daraufhin angepasst wird. Bei den herkömmlichen Zügen wird der Folgefahrerschutz weiterhin infrastrukturseitig durch das Fahren im Blockabstand realisiert.

Im Mischverkehr liegen im Vergleich zum Artreinen Verkehr andere Voraussetzungen vor, die nach wie vor mitberücksichtigt werden müssen. Neben dem Betrieb mit den herkömmlichen Zügen ist die Infrastruktur üblicherweise mit Stellwerken, ortsfesten Signalen, Gleisfreimeldeanlagen sowie Zugbeeinflussungssystemen ausgestattet. Die neuartigen Triebwagen können je nach Szenario die vorhandenen infrastrukturseitigen Ausstattungen nutzen und müssen Aufgaben, die in klassischen Zügen der Triebfahrzeugführer übernimmt, durch neuartige technische Systeme lösen. Durch Betriebsverfahren mit mehrfacher Blockbelegung lässt sich die Kapazität erhöhen.

3 Fazit und Ausblick

Aktuell stehen der Verkehrssektor im Allgemeinen und der Schienenverkehr im Speziellen vor zahlreichen Herausforderungen. Durch den Einsatz von fahrerlosen Triebwagen sind neuartige Betriebskonzepte im Schienenverkehr möglich. Die beispielhaft vorgestellten Betriebskonzepte des Artreinen Verkehrs sowie Mischverkehrs sind durch unterschiedliche technische Ausrüstungen gekennzeichnet, die entweder fahrzeug- oder infrastrukturseitig realisiert werden. Dabei werden die insgesamt acht Schutzfunktionen in jedem Konzept berücksichtigt. Der Artreine Verkehr wird langfristig angestrebt. Bis dahin dürften mittelfristig im Mischverkehr voraussichtlich verschiedene Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstungen parallel existieren.

Für die Betriebskonzepte des Mischverkehrs dient der heutige Eisenbahnbetrieb als Grundlage. Durch den Betrieb der herkömmlichen Züge sind unter anderem die Stellwerke sowie ortsfesten Signale weiterhin erforderlich. Aufgrund dessen werden im Mischverkehr die meisten Schutzfunktionen infrastrukturseitig realisiert. Im Artreinen Verkehr sind Stellwerke und andere Elemente des gegenwärtigen Eisenbahnbetriebs nicht mehr zwingend notwendig. Bei diesen Betriebskonzepten wird eine Vielzahl der Schutzfunktionen exemplarisch fahrzeugseitig zugeordnet. Dennoch sind auch Konzepte denkbar, bei denen die Infrastruktur mehr Schutzfunktionen übernimmt. Dadurch würde die fahrzeugseitige Ausrüstung reduziert werden.

Die Konzepte sind in ihrer Art Vorschläge zur Umgestaltung des Betriebs und stehen im Spannungsfeld der Akteure, sodass ein Konzept nicht „besser“ als ein anderes ist. Vielmehr sind Gesamtbetrachtungen notwendig, die einzelne Aspekte der Betriebskonzepte evaluieren. Gesamtbetrachtungen können Lebenszykluskosten und Auswirkungen anderer Art miteinschließen. Dafür sind gemeinsame Anstrengungen aller Akteure gefordert.

Bis fahrerlose Triebwagen Bestandteil des Schienenverkehrs werden, sind zahlreiche technische Herausforderungen neben rechtlichen Fragestellungen zu klären, um durch die Digitalisierung mit ergänzenden Fahrzeug- und Infrastrukturmaßnahmen mehr Verkehr zuverlässig und sicher abwickeln zu können. Neben den gesellschaftlichen Anforderungen sind die politischen Entscheidungsträger gefragt, Voraussetzungen zu schaffen, die die Entwicklung des Schienenverkehrs begünstigen, um das Bahnsystem bestmöglich für die Herausforderungen der Zeit aufzustellen.

Literatur

- [1] Nießen, Nils; Schindler, Christian; Vallée, Dirk: Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb – Potentiale für den Schienenverkehr, in: Eisenbahntechnische Rundschau, 4/2017, S. 32ff
- [2] Schnieder, Lars: Hochautomatisierte Systeme im Nahverkehr und ihre Inbetriebnahme, in: Eisenbahntechnische Rundschau, 4/2018, S. 21ff
- [3] Hofmann, Matthias; Last, Holger; Klier, Christian: Die erste autonome Tram von Siemens – Erfahrungen und Herausforderungen beim Forschungsprojekt mit der ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH, in: 45. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz, 2019, S. 188ff
- [4] Gralla, Christoph: Sind wir bereit für den fahrerlosen Verkehr im Nah- und Fernverkehr?, in: Signal + Draht (108), 4/2016, S. 6ff
- [5] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/verkehrsverlagerungspotential-schienenverkehr.html?nn=214206>. Letzter Zugriff: 11.06.2019
- [6] Pollmeier, Peter; Schneider, Andreas: Automatisiertes Fahren: Auch für Bahnen?, in: Der Nahverkehr, 7-8/2015, S. 7ff
- [7] Allianz pro Schiene: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/sicherheit/unfallrisiko-im-vergleich/>. Letzter Zugriff: 13.06.2019
- [8] Maschek, Ulrich: Sicherung des Schienenverkehrs, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg Verlag, 2018, S. 10
- [9] Hausmann, Anita; Enders, Dirk H.: Grundlagen des Bahnbetriebs, Heidelberg, Bahn-Fachverlag, 2007, S. 295
- [10] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, §14, zuletzt geändert am 26.7.2017

Autoren



Morast, Albrecht

Albrecht Morast absolvierte ein duales Bachelorstudium bei der DB Netz AG. Nach dem Masterstudium an der TU Dresden zum Bahnsystemingenieur arbeitet er seit 2017 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH.



Hampel, Fabian

Fabian Hampel studierte Maschinenbau in Aachen und Bahnsystemingenieurwesen in Dresden. Er arbeitet seit 2017 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme der RWTH.



Laumen, Peter

Peter Laumen studierte an der RWTH Aachen Elektrotechnik. Seit 2014 arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Eisenbahnsicherungstechnik.



Nießen, Nils

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen leitet seit 2013 das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei HaCon in Hannover und Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.



Schindler, Christian

Christian Schindler studierte Maschinenbau an der RWTH und promovierte zum Thema Schienenfahrzeugdynamik. 2004 wurde er zum Professor für Konstruktion an die TU Kaiserslautern berufen. Seit 2016 leitet er das Institut für Schienenfahrzeuge und Transportsysteme an der RWTH Aachen.



Schlaht, Jürgen

Jürgen Schlaht studierte an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen Elektrotechnik. Seit 1984 ist er bei der Siemens Mobility GmbH in verschiedenen Funktionen im internationalen Verkehrsbereich tätig.