

Methoden zur Lichtraumüberwachung beim Schieben von Güterwagen in einem automatisierten Rangiersystem

Version 1.0

Rampal, Vikrant¹, Kleespies, Frank²

¹ DB Systel GmbH, Frankfurt am Main

² DB Systel GmbH, Frankfurt am Main

Zusammenfassung

Wir diskutieren aktuelle Fragen der Entwicklung eines automatisierten Rangiersystems, das Gegenstand eines gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsprojektes der Fa. G. Zwiehoff, der Deutschen Bahn und der RWTH Aachen ist, das vom BMBF gefördert wird (siehe z. B. [1]). Einen Schwerpunkt unserer Überlegungen stellen dabei Methoden zur Überwachung des Lichtraums beim Ziehen und Schieben von Güterwagen dar. Ein Ziel der Entwicklung des Rangiersystems ist die Bewältigung der Herausforderungen im Rangierbereich aufgrund fehlenden Personals.

Die hier diskutierten Fragen fokussieren sich vor allem auf die Lichtraumüberwachung beim Schieben eines Güterwagens. Das Überwachen des Lichtraums sowohl beim Ziehen als auch beim Schieben eines Güterwagens mit Hilfe eines automatisierten Zweigefahrzeugs ebnet die Entwicklung zu einem vollautomatisierten Rangiersystem. Radareinheiten und faseroptische Sensoren stellen dabei eine von mehreren Varianten dar.

Keywords: Automatisiertes Rangiersystem; Lichtraumüberwachung; Sicherheit beim Rangieren

1 Herausforderungen des Schienengüterverkehrs

Die Globalisierung führt gegenwärtig zu einem enormen Anstieg der zu transportierenden Gütermengen. Entgegen (deutscher) politischer Zielsetzung den Schienengüterverkehr zu stärken und trotz vielerlei Vorteile dieses Verkehrsträgers sank die Transportleistung im letzten Jahr um rund 1,6 % [2]. Um den Schienengüterverkehr als ernstzunehmende Al-

ternative zum Straßenverkehr aufrecht zu erhalten und dessen Bedeutung weiter auszubauen, ist eine Erhöhung der Effizienz unabdingbar. Bei detaillierter Betrachtung des Rangierens in konkreten Kontexten wird schnell deutlich, dass dieser Prozess in vielen Betrieben noch immer überwiegend von manuellen Tätigkeiten dominiert wird und zudem oft mangelnde Transparenz über die Rangierabläufe herrscht. Oft führen Missverständnisse, unvollständige Kommunikation zwischen den Beteiligten und fehlende Dokumentation zu verlängerten Zeiten bei der Zugzusammenstellung oder zu Ausfällen. Auch der Fachkräftemangel ist ein Grund für die sinkende Transportleistung. Fehlendes oder noch nicht voll ausgebildetes Personal ist ein weiteres Hemmnis auf dem Weg zur Steigerung des Transportanteils. Dabei wird Personal sowohl für eine Zugspitzenbesetzung oder Rangierbegleitung als auch für den Führerstand benötigt. Durch diese Faktoren ergeben sich negative Auswirkungen auf die davon abhängige Transportlogistik, was zu einer abfallenden Transportleistung beim Schienengüterverkehr beitragen kann.

Ein automatisiertes Rangierfahrzeug, das für das Personal zusätzliche Freiräume für andere notwendige betriebliche Produktionsprozesse schafft und eine Verfügbarkeit von Rangierleistungen für bis zu 24 Stunden am Tag ermöglichen kann, steigert die Effizienz und stellt einen ersten Schritt in Richtung eines innovativen Rangiersystems für den Einzelwagenverkehr, für Werksverkehre und Bereitstellungsverkehre dar. Nicht nur der Innovationsstau, sondern auch das Gefährdungspotential kann durch eine solche Lösung verringert werden. Deshalb ist für solch ein automatisiertes System die Sicherheit von essentieller Bedeutung. Menschen und Objekte müssen sowohl beim Ziehen als auch beim Schieben und Kuppeln eines Güterwagens durch das automatisierte Rangierfahrzeug geschützt werden, um Unfälle und Störungen zu vermeiden und eine erfolgreiche Umsetzung des Systems zu gewährleisten.

Wir betrachten daher in den folgenden Kapiteln die Bestandteile oder „Elemente“ einer Rangier- oder Bereitstellungsfahrt wie Schieben, Kuppeln und Ziehen, analysieren ihre Gefährdungspotenziale und stellen Möglichkeiten zur Risikomitigation bei Automatisierung dieser Elemente dar. Dabei kann es von den gegebenen Randbedingungen abhängen, welche Möglichkeit sich als die effizienteste im jeweiligen Kontext darstellt. Es wird insgesamt ein breites Spektrum solcher Mitigationmöglichkeiten aufgezeigt, das für viele praktisch relevante Situationen effektive Anwendungsmöglichkeiten enthält.

2 Bewegungsmuster und -elemente beim Rangieren

Das Rangieren stellt einen Teil des Eisenbahnbetriebes dar, bei dem einzelne Fahrzeuge oder Fahrzeuggruppen bewegt und zu Zügen oder Fahrzeuggruppen zusammengestellt

oder getrennt werden oder Fahrzeuge zum Be- oder Entladen zugestellt und wieder abgeholt werden. Dabei sind Fahrzeuge zu kuppeln oder zu entkuppeln, Weichen zu stellen, Gleissperren zu betätigen und stehende Fahrzeuge gegen das Wegrollen zu sichern [3].

Im Bereich des Rangierens ergeben sich verschiedene Aufgaben und Abläufe, welche unterschiedlichen Ansätzen für eine Automatisierung Raum bieten. Die Sicherheit bei einem automatisierten System ist dementsprechend abhängig vom jeweiligem Bewegungsmuster und seinen -elementen. Nachfolgend sollen die verschiedenen Muster kurz dargestellt werden, bevor die Lösungsmöglichkeiten für eine Automatisierung der jeweiligen Abläufe skizziert werden.

Im Sinne der im Eisenbahnwesen verwendeten Terminologie umfasst das Rangieren jegliche Fahrzeugbewegungen, die keine Zugfahrten sind. Insbesondere sind auch Bewegungen zur Bereitstellung von Fahrzeugen für Zugfahrten Rangierverkehre. Die hier dargestellten Verfahren und Ansätze sind daher auch für solche Bereitstellungsfahrten anwendbar. Zu beachten ist allerdings, dass Betriebsordnungen bedeutende Unterschiede aufweisen können, die etwa für Bereitstellungsfahrten im Personenverkehr an einem öffentlichen Bahnhof und für das Verschieben einzelner Wagen auf einem privaten Betriebsgelände gelten und anzuwenden sind. Dies kann die Genehmigungsfähigkeit einer Automatisierungslösung erheblich beeinflussen.

Entsprechend unserer Intention, Lösungen zu schaffen in Bereichen abseits großer und zum Teil bereits hochautomatisierter Zugbildungsanlagen und Rangierbahnhöfe mit Ablaufbergen, stehen in unseren Untersuchungen Bewegungsarten im Fokus, bei denen ein Rangierfahrzeug oder -gerät mit den zu bewegenden Einheiten verbunden wird. Nicht näher betrachtet werden somit Bewegungsarten wie Abdrücken, Ablaufen, Abstoßen, bei denen die zu bewegenden Einheiten allein laufen und deren Einsatz in den meisten Fällen stark von örtlichen Gegebenheiten und darauf Bezug nehmenden lokalen Richtlinien bestimmt wird.

2.1 Gezogene Rangierfahrt

Rangierbewegungen werden in der Regel mit Triebfahrzeugen durchgeführt, können aber auch mit anderen Rangiermitteln erfolgen. Fahrzeuge zu begleiten ist eine der häufigsten Tätigkeiten des Rangierers. Dazu begibt er sich an sichere Plätze, wie beispielsweise in das Triebfahrzeug, auf Rangierertritte oder Endbühnen. Personen, die sich dem Fahrbereich nähern, sind zu warnen, und vor plötzlich auftretenden Hindernissen ist sofort anzuhalten. Generell wird auf Sicht gefahren, wobei diese Anforderung bei den verschiedenen Rangierverfahren unterschiedlich umgesetzt werden kann [3]. Auch das Verschieben von Eisenbahnfahrzeugen ohne Lokomotiven muss so erfolgen, dass vor Hindernissen im Gleisbereich angehalten werden kann. Der in Fahrtrichtung befindliche Gleisbereich ist

zu beobachten, um die nach Fahrdienstvorschrift bzw. nach BOA / EBOA geforderte Fahrwegbeobachtung zu gewährleisten und Gefährdungen von Personen auszuschließen bzw. gefährdete Personen rechtzeitig zu warnen. Diese grundsätzlichen Anforderungen können beim Rangieren unterschiedlich umgesetzt werden. Der Eisenbahnbetriebsleiter legt fest, wie die Beobachtung in den einzelnen Gleisbereichen zu erfolgen hat und dokumentiert das in der Betriebsanweisung [3].

2.2 Heranfahren zum Kuppeln

In einem Gesamtsystem muss ein Rangierfahrzeug oder -gerät in vielen Fällen immer wieder mit unterschiedlichen zu verschiebenden Wagen oder Wagengruppen verbunden werden, um die erforderlichen Transportbedarfe erfüllen zu können. Außer den Fahrten zum Verschieben der Wagen oder Wagengruppen selbst, zu deren Beginn das Rangiermittel bereits mit diesen gekuppelt ist, muss es daher immer wieder an Wagen herangeführt werden, um diesen Zustand zu erreichen.

Die Länge einer solchen Fahrt hängt von den örtlichen Gegebenheiten und dem gewählten Dispositionsverfahren ab und kann genau wie die Verschiebefahrt eine beträchtliche Wegstrecke über das gesamte Areal, auf dem die Rangierverkehre stattfinden, umfassen. Das Verfahren zum Bewältigen des größten Teils dieser Strecke kann wie bei der gezogenen Rangierfahrt erfolgen: Für das Rangierfahrzeug oder -gerät muss der vor ihm liegende Gleisbereich überwacht werden, ob hier etwa unvermutete Hindernisse auftauchen.

Besonders herauszuheben ist der Wegabschnitt einer solchen Heranführungsfahrt, auf dem sich das Rangiermittel in unmittelbarer Nähe zu den im nächsten Schritt zu verschiebenden Einheiten befindet und das Kuppeln unmittelbar bevorsteht.

Fehler oder Ungenauigkeiten bei der Geschwindigkeitsregelung, die zu unangepasster Geschwindigkeit führen, oder das unvermutete Auftauchen von Hindernissen oder Personen im noch verbleibenden Zwischenraum können in kurzer Zeit zu Schäden und Unfällen führen. Sonst bewährte Methoden wie das Einhalten eines sicheren Abstandes können gerade nicht angewendet werden, da die Annäherung der beiden Fahrzeuge oder Fahrzeuggruppen aneinander unvermeidbar, beabsichtigt und zwingend erforderlich ist. Das Bewegungselement des Heranfahrens zum Kuppeln bietet somit offensichtliches Gefährdungspotenzial. Erläuterungen zur Vorbereitung des Kuppelns, beispielsweise dazu, wann zwischen die Wagen getreten werden darf, nehmen in einschlägigen Vorgaben und Empfehlungen daher breiten Raum ein, siehe beispielsweise [4], Abschnitt 7.3.

Für den Rangierbetrieb stellt daher das Heranfahren eines Rangierfahrzeugs oder -gerätes an einen zu bewegenden Wagen oder eine Fahrzeuggruppe ein Bewegungselement dar, dessen bevorstehender Eintritt zuverlässig erkannt werden muss.

2.3 Geschobene Rangierfahrt

Bei gezogenen Rangierfahrten wird der Gleisbereich im Allgemeinen von dem ziehenden Rangiermittel aus beobachtet. Dagegen geschieht das Beobachten des Gleisbereichs bei geschobenen Rangierfahrten in der Regel von der Spitze der geschobenen Fahrt aus. Bei nicht funkferngesteuerten Rangiermitteln ist grundsätzlich eine zweite Person erforderlich, die den Gleisbereich von der Spitze aus beobachtet (Spitzenbesetzung) [5]. Seitliches Vorausgehen oder Mitfahren auf dem Rangierertritt sind dafür die generellen Methoden, wie in Abbildung 1 dargestellt. Werden nur Wagen bewegt, über die man vom Rangiermittel aus hinwegsehen kann – zum Beispiel von einem Zweibegefahrzeuge geschobene Flachwagen – und ist die Einheit nicht zu lang, kann die Beobachtung vom Rangiermittel aus erfolgen.



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Spitzenbesetzung [5]

Der Rangierbegleiter gibt per Funk dem Triebfahrzeugführer Fahr- und Halteaufträge und warnt Personen im Gleisbereich. Die Verständigung aller Beteiligten untereinander sowie die Verantwortung für die Fahrzeugbewegungen müssen sichergestellt und eindeutig sein, um Missverständnisse zu vermeiden. Die Kommunikation zwischen Rangierer und Triebfahrzeugführer erfolgt in der Regel über Sprechfunk. Ist dieser nicht vorhanden, müssen die Fahr- und Halteaufträge gleichzeitig sicht- und hörbar als Rangiersignale gegeben werden. Dafür ist eine direkte oder indirekte Sichtverbindung, zum Beispiel über fahrzeugseitige Außenspiegel, erforderlich. Außerdem muss die Hörbarkeit der Rangiersignale gewährleistet sein [5].

Um das Rangieren im Schienengüterverkehr ökonomischer zu gestalten, wurde die Notwendigkeit von zwei Mitarbeitern durch die Einführung von Funkfernsteuerungen (FFS) aufgeweicht. So ist es unter Einsatz einer FFS nach aktueller Gesetzeslage möglich, das

Fahrzeug oder Gespann mit nur einem Mitarbeiter (auch Lokrangierführer genannt) zu rangieren, da dieser nicht mehr ortsfest an das Bedienpult im Führerhaus der Maschine gebunden ist. Der Lokrangierführer besetzt die Spitze oder läuft seitlich voraus und steuert von dort aus das Rangiermittel [6]. Dem daraus resultierenden ökonomischen Vorteil steht die deutliche Erweiterung des Aufgabenspektrums des nun allein verantwortlichen Lokfahrzeugführers gegenüber. Fährt der Lokrangierführer allein, ist er Auftragserteiler, -nehmer und -ausführender in einer Person. Dieser muss nun nicht nur die Steuerung des Fahrzeugs oder Gespanns durchführen, sondern ebenfalls die Überwachung und die Sicherung des Fahrweges übernehmen.

Zwar obliegt dann die Verantwortung einer Person, jedoch entfallen viele Probleme der Verständigung zwischen Triebfahrzeugführer und Rangierbegleiter. Kommunikationsfehler zwischen Personen sind nicht mehr möglich und entfallen gänzlich, da die Triebfahrzeuge über Funk ferngesteuert werden.

2.4 Fahren in Mehrfachtraktion (Tandem)

Neben den genannten Varianten ist auch ein Rangieren in Mehrfachtraktion bzw. als Tandem möglich. Das Lokomotivsandwich, also das Fahren mit zwei Trieb- oder Rangierfahrzeugen an entgegengesetzten Enden eines Wagenzuges, unterscheiden sich von der Doppeltraktion durch geringere Kupplungsbelastung und Wendezugfähigkeit ohne Notwendigkeit eines Steuerwagens. Die Lichtraumüberwachung erfolgt dabei ähnlich wie bei geschobenen Rangierfahrten über eine Spitzenbesetzung [7]. Im Schienengüterverkehr ist dieses Bewegungsmuster oftmals bei Werksverkehren vonnöten, wenn die Traktion eines Fahrzeuges nicht ausreicht, um sehr schweres Gut zu transportieren. Deshalb ist das zu transportierende Gut von zwei Rangierfahrzeugen umschlossen, wie es in Abbildung 2 zu sehen ist.



Abbildung 2: Rangierfahrt in Mehrfachtraktion

3 Lösungsmöglichkeiten für die Automatisierung der unterschiedlichen Bewegungsmuster

In den folgenden Abschnitten betrachten wir die im letzten Kapitel dargestellten Bewegungsmuster und -elemente unter der Annahme, dass sie von einem vollständig automatisierten Rangierfahrzeug oder -gerät ausgeführt werden. Wir zeigen für alle Bewegungselemente Möglichkeiten für die Mitigation bestehender Risikopotenziale auf und geben Hinweise zur Bewertung dieser Möglichkeiten in unterschiedlichen Anwendungssituationen.

3.1 Möglichkeiten der Lichtraumüberwachung bei gezogenen Rangierfahrten

Bei gezogenen Rangierfahrten bieten bereits einsatzbereite Systeme aus anderen Branchen standardisierte Verfahren und beinhalten spezielle Systemkomponenten, die für den Schienengüterverkehr adaptiert werden könnten. Die Fahrerlosen Transport-Fahrzeuge (FTF) beispielsweise sind mit einem 3D-Laser, Laserscanner und Kameras zur 3D-Umgebungserfassung ausgestattet. Durch Sensorbündelung kann die Umgebung exakt erfasst werden, die Objektmessung und räumliche Position des Objektes kann bestimmt werden [8].

Ähnlich wie bei den FTF sind bereits zahlreiche Bausteine etwa in der Automobilbranche vorhanden. Dazu zählen unter anderem Lösungen wie Spurstabilitätssysteme, Pre-Crash-Systeme, Automatische Parksysteme sowie LineKeeping-Systeme. Ein ausgestattetes Fahrzeug mit umfassender, integrierter Sensorik, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist, kann sein Umfeld im 360-Grad-Blickwinkel und mit einer Vielzahl verschiedener „Sinne“ wahrnehmen, die auf unterschiedlichen Wellenlängen des Licht- und akustischen Spektrums auf die Umwelt reagieren. Angedacht ist, die Sensorinformationen über Datenbusse an die zentrale Steuereinheit zu übertragen, die abhängig von der Datenlage Befehle an aktive Fahrsysteme (Lenkung, Beschleunigung, Bremse) aussendet [9].

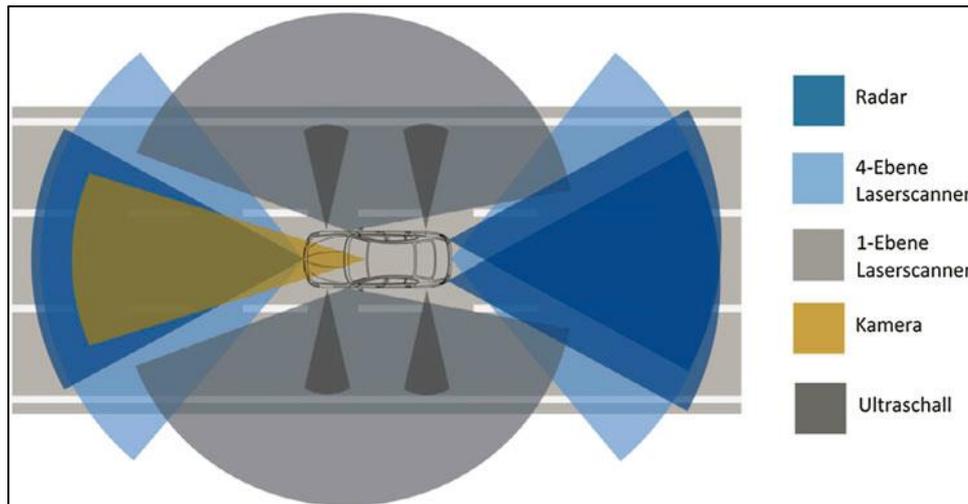


Abbildung 3: Umfelderkennung für das automatisierte Fahren [10]

Auch in der Bahnbranche gibt es erste Schritte in Richtung Lichtraumüberwachung, welche beispielsweise die Verkehrsgesellschaft Frankfurt (VGF) für Straßenbahnen erprobt hat. Bei Straßenbahnen herrscht im Gegensatz zur Vollbahn keine Blocksicherung, ein Auffahren auf vorausliegende Fahrzeuge ist jederzeit schnell möglich, und es ist kein gesicherter Fahrweg vorhanden. Die Abstandssicherung sowie die Beobachtung der Weichenlage erfolgen allein durch den Fahrer. Um in erster Linie die Unfallgefahr zu reduzieren und ergänzend den Fahrer zu entlasten, installierte und erprobte die VGF ein Fahrerassistenzsystem zur Kollisionsvermeidung. Das System sucht den Fahrweg vor der Bahn auf Hindernisse ab und bestimmt deren Lage sowie Bewegungsrichtung relativ zum Fahrzeug. Mit Hilfe dieser Daten kann dann die Gefahr eines Zusammenstoßes berechnet und ein solcher notfalls verhindert werden. Das Kollisionswarnsystem beinhaltet einen Video- und Radarsensor, wobei die Kamera den Schienenverlauf erfasst und der Radarsensor andere Bahnen auf der Strecke registriert und auch die Positionen und Geschwindigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer in der Umgebung [11].

In einem weiteren Bereich der Bahnbranche, dem der Metros oder U-Bahnen, wurden bereits einige Fahrerassistenzsysteme erfolgreich etabliert, und auch automatisiertes Fahren ist keine Seltenheit mehr. In solch vollautomatisierten U-Bahn-Systemen kommen fahrerlose Bahnen zum Einsatz. Bei U-Bahnen handelt es sich um geschlossene Systeme, auf denen meist nur baugleiche Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Außerdem schützt das Tunnelsystem die Infrastruktur besser vor äußeren Einwirkungen und Gefährdungen.

Nichtsdestotrotz benötigt ein fahrerloses U-Bahn-System zahlreiche Informationen, weshalb Sensor- und Signalsysteme entlang der Strecke installiert sind. Zur Analyse der Fahrzeugumgebung kommen unter anderem Radarsensoren (Abstandsmessung) und Radimpulsgeber (Erfassung von Weg und Geschwindigkeit) zum Einsatz. Darüber hinaus sind zur automatischen Entgleisungserkennung an jedem Drehgestell Entgleisungsdetektoren montiert, und das Erkennen von Berührungen wird durch aktive Bahnräumer gewährleistet. Die Überwachung der Bahnsteige und der Bahnsteiggleise stellt grundsätzlich die größte Herausforderung dar. Zur Sicherung von Haltestellen werden verschiedene Bereiche definiert, die überwacht werden müssen, siehe Abbildung 4 [12, 13]:

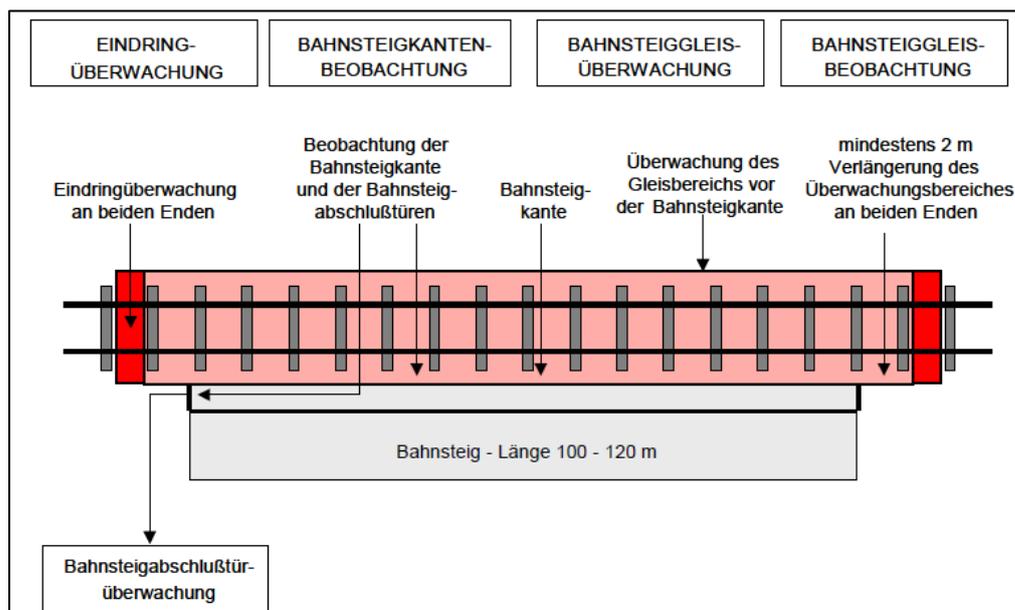


Abbildung 4: Haltestellenüberwachung bei automatischen U-Bahn-Systemen [12]

Zu den Bereichen zählt zunächst der direkt an die Station angrenzende Bereich, um das Eindringen von Personen vom Bahnsteig in den Tunnel zu verhindern. Dies geschieht durch überwachte Bahnsteigabschlußtüren, welche mit einer Kontaktsicherung ausgerüstet sind. Jede nicht von der Leitstelle autorisierte Öffnung löst einen Alarm aus. Des Weiteren ist eine Überwachung der Bahnsteigkante und des Bahnsteiggleises erforderlich. Sollten im fahrerlosen Betrieb Gegenstände oder Personen auf das Gleis fallen, muss

dies erkannt werden und einfahrende Züge sofort zum Stehen gebracht werden. Bei der Realisierung können dabei verschiedene Subsysteme zum Einsatz kommen.

Beispielsweise kann die Überwachung der Bahnsteiggleise durch Laserscanner realisiert werden. Darüber hinaus können Überwachungskameras installiert werden, die der Bahnsteigkantensicherung dienen. Am Beispiel der Nürnberger U-Bahn wird die Bahnsteiggleisüberwachung durch ein Hochfrequenz-Transponder-System, bestehend aus einem modular aufgebauten Sensorengitter mit einer Senderleiste auf der einen und einer Empfängerleiste auf der anderen Bahnsteiggleisseite, realisiert. Zwischen diesen verlaufen Hochfrequenzwellen in Linienform. Mittels dieser Wellen sind größere Gegenstände sicher zu detektieren. Werden die Hochfrequenzwellen unterbrochen, weil zum Beispiel ein Objekt oder eine Person zwischen Sender und Empfänger geraten ist, registriert dies ein so genannter Gefahrprofil-Controller und leitet umgehend die notwendigen Maßnahmen ein [12], [13].

Auch für den Schienengüterverkehr gibt es erste Versuche und Erkenntnisse bei der Lichtraumüberwachung beim Ziehen eines Güterwagens, wie beispielsweise das Pilotprojekt der Firma Reuschling mit der Ruhr-Universität Bochum zeigt. Im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines Assistenzsystems für gesicherte Rangieraufgaben“ wird ein fahrzeugseitiges Assistenzsystem entwickelt, welches den Rangierer bzw. Triebfahrzeugführer unterstützen soll. Eine der Funktionen beinhaltet beispielsweise die Überprüfung des Arbeitsraumes in Fahrtrichtung vor der Lokomotive [14]. Ein weiteres Beispiel aus dem Bereich des Schienengüterverkehrs ist die Entwicklung eines Hinderniserkennungssystem. Auch die DB Cargo hat konkrete Entwicklungstätigkeiten angestoßen, um den Rangierprozess zu automatisieren. Der erste Schritt besteht darin, die autonome Annäherungsfahrt an einen Wagen zu realisieren [15]. Dazu wurde in einer Abschlussarbeit ein Hinderniserkennungssystem entwickelt, das die benötigte Sicherheit für eine autonome Rangierlok gewährleistet. Dieses kann einen Wagen bzw. einen Menschen auf dem Gleis detektieren und dann entweder einen rechtzeitigen Bremsvorgang einleiten oder mit der Näherungsfahrt beginnen. Das Hinderniserkennungssystem besteht aus einem 8-Lagen-Laserscanner, einer Thermokamera und einer RGB-Kamera. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass Personen im Gleis und Wagen als Hindernisse erkannt und die Distanz zu diesen ermittelt werden kann [16].

Somit lassen sich aus unterschiedlichsten Branchen Möglichkeiten für die Lichtraumüberwachung beim Ziehen von Güterwagen ableiten, die genutzt werden können und bereits ein breites Anwendungsspektrum ermöglichen. Bei der vergleichenden Bewertung der Möglichkeiten sind terminliche und wirtschaftliche Machbarkeit, Zulassungsfähigkeit und technische Komplexität zu berücksichtigen.

So kann auf manchen Betriebsfeldern ein Lichtgitter als optimale Möglichkeit zur Lichtraumüberwachung in Frage kommen, in anderen hingegen nicht, da die Ausrüstung einer langen Strecke mit einem Lichtgitter sehr kostenintensiv ist. Bei der Ausstattung eines U-Bahn-Systems mit Lichtgittern handelt es sich in der Regel um zwei Gleise – bei einem Rangierfeld sind meist mehr Gleise vorhanden, sodass der finanzielle Aufwand bedeutend ansteigt. Für die Zulassungsfähigkeit sind besonders bei der Adaption anderer Systeme die jeweiligen bahnspezifischen Randbedingungen zu beachten. Im Bereich der Sicherheit kann es eine entscheidende Rolle spielen, ob das System nach EBO oder BOA zugelassen werden muss. Als ein wichtiger Aspekt für die Bewertung der technischen Komplexität sei genannt, dass je nach Gegebenheiten des Rangierfeldes verschiedene Objektarten berücksichtigt werden müssen. In Abhängigkeit davon, welche Sensorikteilsysteme für welche Objektarten zum Einsatz kommen können, kann das Hinderniserkennungssystem mehr oder weniger komplex ausfallen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die dargestellten Möglichkeiten ein breites Feld von Anwendungsmöglichkeiten abdecken und für jeden Anwendungsfall nach den genannten Kriterien einzeln betrachtet und bewertet werden müssen. Vor- und Nachteile fallen den Gegebenheiten des Rangierbetriebes entsprechend unterschiedlich aus.

3.2 Möglichkeiten der Lichtraumüberwachung bei geschobenen Rangierfahrten

Liegt der Fokus auf der Erkennung von Personen und Gegenständen beim Schieben eines Güterwagens, so stößt die fahrzeugseitige Sensorik an ihre Grenzen, da der Lichtraum vor dem Güterwagen oder der Güterwagengruppe vom Rangiermittel aus nicht vollständig durch die Sensorik erfasst werden kann. Um das Schieben eines Güterwagens mit Hilfe eines automatisierten Rangierfahrzeugs durchzuführen, müssen daher auch infrastrukturseitige Einrichtungen oder externe Konstellationen betrachtet werden. Zum Schutz von Personen müssen Gleisabschnitte, in denen ein fahrerloser Schiebetrieb stattfindet, auf Freisein des Lichtraums überwacht werden. Eine Möglichkeit dafür bieten unter anderem folgende infrastrukturseitige Einrichtungen.

Radarsysteme

Nimmt man sich die Auslegung anderer Branchen (Flughäfen, Industriegelände, militärische Einrichtungen) zum Vorbild, stehen verschiedene technisch ausgereifte Möglichkeiten für die Sicherung von Freigeländen und Außengeländen zur Verfügung. Wir betrachten zunächst Mikrowellen- bzw. Radarsysteme, die auf der Erzeugung eines unsichtbaren, elektromagnetischen Feldes zwischen einem Sender und einem Empfänger basieren. Sobald sich ein Mensch oder ein Objekt in diesen ellipsenförmigen Bereich hineinbewegt, wird eine Feldänderung erzeugt und ein Alarm gemeldet. Das vom Hindernis im Feld

erzeugte Echo wird vom Radar als Signal empfangen und ausgewertet. Dies ermöglicht, die Geschwindigkeit und die Richtung der Objekte zu ermitteln. Bei entsprechender Auflösung können daraus Gestalt und Größe abgeleitet werden. Die Größe und die Bewegungsgeschwindigkeit der Objekte werden genutzt und interpretiert, um Alarme durch unkritische Ursachen zu vermeiden [17]. Ein Radarsystem als ortsfeste Einrichtung bietet sich als Möglichkeit zur Überwachung des Lichtraumes vor dem Güterwagen besonders an, wenn dieser Lichtraum immer nur in umgrenzten Teilen des Rangierfeldes überwacht werden muss.

Faseroptische Sensoren

Eine weitere Möglichkeit und beachtenswerte Alternative zu Radar- und Lasersensoren stellen glasfaserbasierte Sensoren dar. Der neben den Gleisen bzw. an den Schienen installierte Lichtwellenleiter kann sich bewegende Menschen im Gleis erkennen, indem mit Hilfe von speziell entwickelten Algorithmen der Einfluss von Geräuschen auf die im Lichtwellenleiter laufenden Lichtsignale analysiert wird. Hinsichtlich der Nutzbarkeit im Rangierbereich befindet sich dieser Ansatz im Anfangsstadium. Durch parallele Fahrten in Rangierbereichen oder durch Geräusche der Produktion auf Werksgeländen kommen diverse Nebengeräusche zustande. Um ein konsequentes Detektieren von Personen im Lichtraum zu ermöglichen, müssen solche Nebengeräusche zuverlässig gefiltert werden. Eine Reihe von Anwendungen konnte diesbezüglich bereits umgesetzt werden, während sich andere noch in der Entwicklung befinden. Dies stellt ein gewisses Risikopotenzial dar, welches zusätzliche Kosten verursachen kann. Grundsätzlich haben glasfaserbasierte Sensoren aber das Potenzial, eine Basistechnologie zum Schutz von Personen im Bahnbereich zu werden [18].

Infrarotkamera aus der Vogelperspektive

Ebenfalls besonders für den Fall, dass der zu überwachende Lichtraum beim Schieben eines Güterwagens sich in einem umgrenzten Bereich befindet, ist es möglich, dessen Überwachung durch die Befestigung einer Drohne, genauer gesagt die Befestigung einer Infrarotkamera, zu gewährleisten. Vergleichbar ist diese Möglichkeit mit einer Kamera, welche bei Großveranstaltungen und in Sportstadien eingesetzt wird.

Das System schwebt an Drähten hängend über dem Spielfeld und kann so das Spielgeschehen und dessen Umfeld aus der Vogelperspektive verfolgen. Ein ähnliches Konzept wird derzeit auch durch die ETH Zürich in der Landwirtschaft erprobt, siehe Abbildung 5. In den Ecken eines Versuchsfeldes stehen vier 24 Meter hohe Masten. Dazwischen sind acht Führungsseile gespannt, die einen daran befestigten Sensorkopf mit verschiedenen Kameras an jeden beliebigen Punkt des Feldes steuern können [19]. Mit diesem Konzept, das witterungsunabhängig ausgelegt werden kann, ist es möglich, das derzeit noch

bestehende Nachtflugverbot sowie das Verbot des automatisierten Fliegens für Drohnen zu umgehen.

Anders als bei einer Kamera über einem Fußballfeld muss die Steuerung sehr viel präziser sein und eine Schnittstelle zum Rangierfahrzeug vorhanden sein. Die Bild- oder Signalübertragung erfolgt per Funk oder über die in den Führungsseilen verarbeiteten Glasfaser- oder Kupferkabeln. Über solche Kabel lässt sich zudem die Energieversorgung realisieren. Alternativ können hierfür auch Batterien eingesetzt werden.



Abbildung 5: Überwachung einer Feldlandschaft mit einer schwebenden Infrarotkamera [19]

Vergleichende Betrachtung

Die Möglichkeiten der Lichtraumüberwachung bei geschobenen Rangierfahrten sind ebenfalls abhängig von den jeweiligen Randbedingungen des Rangierfeldes zu wählen. So entscheidet die Größe des zu überwachenden Feldes über die Menge der aufzustellenden Sensoreinheiten und daraus folgend über die monetäre Bewertung – dabei stellen sich beispielsweise faseroptische Sensoren oft günstiger dar als Radareinheiten, solange nicht zusätzliche optische Auswerteeinheiten benötigt werden. Beim Einsatz von Radar ist die Möglichkeit elektromagnetischer Störungen zu beachten, die die Funkverbindung beeinträchtigen können. Die infrastrukturellen Gegebenheiten spielen desgleichen bei der Infrarotkamera aus der Vogelperspektive eine entscheidende Rolle. Für die Adaption auf ein automatisiertes Rangiersystem zur Überwachung des Lichtraums ist zunächst in die Infrastruktur einzugreifen, um die Drahtseile über die zu überwachenden Gleise zu spannen

und die Masten aufzubauen. Die Standorte und die Anzahl der Masten sind abhängig von der Größe des Rangierfelds und dessen Bebauung.

Demgegenüber stehen die glasfaserbasierten Sensoren, welche aufgrund des notwendigen sicheren Filterns der Nebengeräusche eine hohe technische Komplexität aufweisen. Wie beschrieben stellen diese eine aussichtsreiche, jedoch aktuell noch nicht zuverlässig projektierbare Möglichkeit dar. Das innovative und universelle Konzept bringt unter anderem Vorteile wie eine schnelle und unaufwändige Verlegung der Glasfaserkabel sowie eine einfache und sichere Energieversorgung mit sich.

Ein wichtiger Punkt ist, dass bei allen infrastrukturseitigen Möglichkeiten eine Überwachung der Funkverbindung zwischen Infrastruktur und Fahrzeug erforderlich ist. Denn die Meldung, dass ein Gegenstand oder eine Person in den Lichtraum eintritt, muss sicher erkannt und unverzüglich an das Rangierfahrzeug übermittelt werden, damit unmittelbar ein Halt ausgelöst wird. Das Fahrzeug muss daher auch sofort zum Halt kommen, wenn seine Überwachung der Funkverbindung deren Abbruch meldet. Auch hierbei können Umfeldfaktoren, die elektromagnetische Störungen hervorrufen, zumindest Auswirkungen auf die Effizienz des Systems haben.

3.3 Möglichkeiten für die Risikomitigation beim Heranfahen zum Kuppeln

Die besondere Herausforderung beim Heranfahen zum Kuppeln liegt in der Bewältigung des letzten Streckenabschnittes, der Annäherungsfahrt des automatisierten Rangierfahrzeugs oder -geräts an das zu rangierende Fahrzeug unmittelbar vor dem Kuppeln.

Die Risiken hierbei bestehen in

- Schäden, die durch das Auffahren des Rangierfahrzeugs oder -geräts auf den Wagen entstehen können und
- Schäden oder Verletzungen, die durch den unvermuteten Eintritt von Gegenständen oder Personen in den Raum zwischen Rangierfahrzeug oder -gerät und dem zu kuppelnden Wagen entstehen können.

Für den zuerst genannten Punkt des Auffahrens bestehen Mitigationmöglichkeiten in einer geringen Geschwindigkeit bei der Annäherungsfahrt und dem Einsatz eines Abstandssensors sowie eines Kontaktsensors. Die Annäherungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass Rangierfahrzeug oder -gerät und Wagen robust genug sind, um einen Aufprall mit dieser Geschwindigkeit ohne Schaden zu überstehen, beispielsweise deutlich unter 5 km/h. Als Abstandssensoren bieten sich wie in vorangegangenen Abschnitten Laser- oder Radarsysteme an. Für den Kontaktsensor kann ein Schalter in der Kupplung oder Berührfläche des Rangierfahrzeugs oder -gerätes eingesetzt werden, der mechanisch

ausgelöst wird oder induktiv die unmittelbare Nähe des Zughakens oder einer anderen Berührfläche registriert. Solche Abstands- und Kontaktsensoren sind gängig und am Markt verfügbar.

Für das zweite Risiko der Schäden oder Verletzungen von Personen im Zwischenraum zwischen Rangierfahrzeug oder -gerät und Wagen besteht eine Möglichkeit darin, wieder Methoden der Lichtraumüberwachung anzuwenden, wie sie in den vorangegangenen Abschnitten für die gezogenen Rangierfahrten bereits dargestellt wurden. Werden solche fahrzeugseitigen Sensoren zur Abstandsmessung (Lidar, Radar etc.) eingesetzt, entsteht die Information über den Eintritt eines Gegenstandes oder einer Person schon auf dem Fahrzeug und kann dort direkt verarbeitet werden.

Die Herausforderung stellt hierbei der zu kuppelnde Wagen dar, dessen Abstand zum Rangierfahrzeug oder -gerät immer geringer wird, der aber nicht als unvermutetes Hindernis betrachtet werden darf. Damit dies nicht geschieht, muss das System sicher seine eigene genaue Position oder Geschwindigkeit relativ zum stehenden Wagen kennen bzw. erfassen und mit den Messwerten der Sensorik entsprechend abgleichen. Das Fahrzeug führt diesen Teil der Fahrt somit selbstgesteuert als Autonome Annäherungsfahrt durch. Ein solches System aus Sensoren und Steuerung ist derzeit grundsätzlich herstellbar, aber noch nicht generell auf dem Markt verfügbar.

Auch die infrastrukturseitigen Mitigationsmaßnahmen (z. B. Lichtgitter, infrastrukturseitige Sensorik) können nutzbringend installiert werden. Zu beachten ist dabei wie oben, dass eine sichere Überwachung der Funkverbindung zwischen Infrastruktur und Fahrzeug notwendig ist.

Eine weitere Möglichkeit das Schadens- und Verletzungsrisiko der Annäherungsfahrt zu mitigieren, stellen Zusatzeinrichtungen dar, die ein Einquetschen eines Körpers zwischen Rangierfahrzeug oder -gerät und Wagen verhindern. Ein Beispiel sind gefederte Stoßfänger, die soweit vorgeschoben sind, dass das Fahrzeug noch auf der Strecke anhalten kann, auf der durch den Gegenstand oder Körper nur die Federn des Stoßfängers zusammengedrückt werden. Dieses mechanische Zusammendrücken löst auf dem Fahrzeug den Halt sicher aus. Die für ein solches System erforderlichen Komponenten sind verfügbar, das System kann daraus einfach hergestellt werden.

Eine Bewertung der Systeme zur Abstandsmessung und darauf aufbauend Detektion von Gegenständen und Personen sowie der infrastrukturseitigen Installationen ist bereits in den vorigen Abschnitten erfolgt. Hinzu kommen hier der mechanische oder induktive Kontaktsensor, der sich hinsichtlich aller Kriterien der terminlichen und wirtschaftlichen Machbarkeit, der technischen Komplexität und der Zulassung unkritisch darstellt.

Für die infrastrukturseitige Installation von Sensoren und Detektoren kommt wieder die sichere Funkverbindung hinzu, die technisch ohne Weiteres herstellbar ist. Sie kann auch

hier die Effizienz des Systems wesentlich einschränken, wenn in einem Umfeld betriebliche oder andere Vorgänge häufig elektromagnetische Störungen verursachen und die Funkverbindung beeinträchtigen, sodass das Fahrzeug immer wieder anhält.

Die fahrzeugseitige Installation von Sensoren und einer sicheren Steuerung für die Erkennung von Hindernissen ist mit relativ hoher technischer Komplexität und daraus folgend relativ höheren Realisierungsaufwänden verbunden. Dieser Ansatz stellt sich dennoch als reizvoll dar, da er eine Lösung der Sicherheitsproblematik nur auf der Produktkomponente Fahrzeug ermöglicht, also Schnittstellen und Abhängigkeiten zu Umgebungs- und Infrastrukturbedingungen reduziert und damit eine Lösung schafft, die gleichartig in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden kann.

Der Einsatz von gefederten Stoßfängern, die einen Halt auslösen können, stellt schließlich eine hinsichtlich Machbarkeit, Komplexität und Zulassungsfähigkeit sehr reizvolle Alternative dar, deren Nachteil aber in dem auf sehr niedrige Geschwindigkeiten beschränkten Einsatzbereich liegt.

3.4 Möglichkeiten der Lichtraumüberwachung bei Mehrfachtraktion (Tandem)

Für die Lichtraumüberwachung bei diesem Bewegungsmuster können ohne Weiteres die Lösungen der gezogenen Rangierfahrt übernommen werden, da die Sicht für die Sensorik nicht durch einen Güterwagen versperrt wird. So ermöglicht ein Hinderniserkennungssystem auf beiden Rangierfahrzeugen das Überwachen des Lichtraums. Die technische Komplexität steigt hierbei nur leicht an, es muss lediglich beispielsweise durch eine fest installierte Steuerverbindung sichergestellt werden, dass die Rangiermittel auf beiden Seiten in Kontakt sind und ihre Zug- und Bremskräfte koordinieren, besonders natürlich im Falle eines Stopps vor einem Hindernis. Ggf. kann eine Vereinfachung dadurch erreicht werden, dass nur das jeweils ziehende Fahrzeug aktiv ist, an dem sich dann auch das für diese Richtung relevante Hinderniserkennungssystem befindet.

Alternativ können natürlich auch hier die im Abschnitt 3.2 mit ihren Vor- und Nachteilen diskutierten infrastrukturseitigen Lösungen eingesetzt werden. In diesen Fällen steigt die technische Komplexität bei einer Fahrt im Lokomotivsandwich kaum an.

Die Fahrt im Tandem bietet damit gute Möglichkeiten der Lichtraumüberwachung, es können sämtliche vorgestellte Methoden angewendet und kombiniert werden. Sind Rangierfahrten im Tandem also etwa aufgrund der Erfordernisse an die Traktion ohnehin erforderlich, erleichtert dies die Lösung des Überwachungsproblems für den Lichtraum erheblich.

4 Fazit

Unsere Überlegungen zeigen, dass die Herausforderungen, die an die Lichtraumüberwachung für ein automatisiertes Rangiersystems für Werksverkehre gestellt werden, im Bereich der aktuellen technischen Möglichkeiten liegen. Dabei ist vorteilhaft, dass bei Rangierverkehren relativ niedrige Geschwindigkeiten gefahren werden (können), die das Gefährdungspotenzial herabsetzen und mitigierende Maßnahmen ermöglichen, die besonders bei hohen Streckengeschwindigkeiten nicht mehr möglich oder nicht mehr zielführend sind. Rangier- und Werksverkehre bieten sich daher weiterhin auch aus technischer Sicht als aussichtsreiche Kandidaten für die zeitnahe Einführung eines automatisierten Gesamtsystems in bestehende Schienenverkehrssysteme an.

Literatur

- [1] Kleespies, F., Jung, H.-S., Zwiehoff, S.: *Automatisierte Rangiergeräte und Disposition für den innerbetrieblichen Verschub von Schienenfahrzeugen*. ETR 05/2019, pp. 64-67
- [2] Destatis, Statistisches Bundesamt: *Güterverkehr 2016: Neuer Höchststand beim Transportaufkommen*. [Online]. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2017/02/PD17_057_463.html. [Zugegriffen: 08. März 2019].
- [3] VBG – Ihre gesetzliche Unfallversicherung: *Rangieren bei Eisenbahnen*. in: *VBG-Fachinformation BGI 529*, BC-Verlag, Wiesbaden, 2012
- [4] Deutsche gesetzliche Unfallversicherung: *Führen von Triebfahrzeugen*, DGUV Information 2014-053, Berlin. [Online]. Verfügbar unter: https://www.uv-bundbahn.de/fileadmin/user_upload/214-053.pdf. [Zugegriffen: 07 Juli 2019]
- [5] VGB-Fachwissen: *Sicheres Verhalten betriebsfremder Personen im Gleisbereich von Eisenbahnen*. in: *VBG-Fachinformation BGI 834*, BC-Verlag, Wiesbaden, 2012
- [6] VGB-Fachwissen: *Sicherheit für Lokrangierführer: Funkfernsteuerung bei Eisenbahnen*. warnkreuz SPEZIAL Nr. 29, 2014.
- [7] *Mehrfachtraktion*, wikipedia.de, 2018 [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfachtraktion> [Zugegriffen: 22. Mai 2019]
- [8] Ulrich, G.: *Fahrerlose Transportsysteme*, 2. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2014, eBook ISBN: 978-3-8348-2592-6

- [9] Maurer, M.: *Autonomes Fahren - technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag, 2015.
- [10] Johanning, V., Mildner, R.: *Car IT Kompakt*, 1. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2015, eBook ISBN: 978-3-658-09968-8
- [11] Ruffer, M.: *Assistiertes Fahren auf BOStrab-Bahnen*, in: *Archiv IFS Seminar RTWH Aachen (Präsentationsfolien)*, 2016
- [12] Fahrenholz, M.: *Konzeption eines Betriebskonzepts für ein bedarfsgesteuertes schienengebundenes Shuttle-System*, Dissertation der Universität Paderborn, 2004
- [13] Siemens AG: *Wie funktioniert eine fahrerlose U-Bahn?*, in: *Fact Sheet Siemens*, Heft 1, 2004
- [14] Franzen, J.: *Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Rangierens durch ein innovatives Assistenzsystem*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) Serie Nr. 6, 2017.
- [15] *Autonomfahrende Züge: Deutsche Bahn teste Loks ohne Führer*, Wirtschaftsblatt.de 2018 [Online]. Verfügbar unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen/dienstleister/>. [Zugegriffen: 20. Februar 2017]
- [16] Gleichauf, J.: *Sensorfusion für die Hinderniserkennung einer autonomen Rangierlok*. Masterarbeit an Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, 2017.
- [17] *Freigeländeüberwachung & Zaundetektionssysteme*, heinze.de, 2018 [Online]. Verfügbar unter: www.heinze.de/media/14386937/pdf/16196580px595x842.pdf. [Zugegriffen: 13. Mai 2018]
- [18] *Sensorik – Faseroptische Sensorik (FOS) in der Anwendung*, blverlag.ch, 2018 [Online]. Verfügbar unter: <https://aktuelletechnik.blverlag.ch/sensorik-faseroptische-fos-in-der-anwendung/> [Zugriff: 13. Mai 2018]
- [19] *Hier wird die Zukunft der Bauern geübt*, bazonline.ch, 2018 [Online]. Verfügbar unter: www.bazonline.ch/wetter/allgemeinelage/hier-wird-diezukunft-der-bauern-geuebt/story/31607274?track. [Zugegriffen: 22. Mai 2018]

Autoren



Rampal, Vikrant

V. Rampal hat an der RWTH Aachen Bahnsystemingenieur studiert und arbeitet als Berater bei der DB Systel GmbH, dem IT-Unternehmen der Deutschen Bahn AG, im Bereich Vehicle IT and Automated Driving.



Dr. Kleespies, Frank

F. Kleespies hat an der Goethe Universität Frankfurt Mathematik studiert und arbeitet als Berater und Projektleiter bei der DB Systel GmbH, dem IT-Unternehmen der Deutschen Bahn AG, im Bereich Vehicle IT and Automated Driving.