

Strategie zur umfassenden Automatisierung und Digitalisierung des Schienengüterverkehrs

Runder Tisch Schienengüterverkehr



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Einführung



Die Zukunft eines wettbewerbsfähigen Schienengüterverkehrs liegt in der umfassenden Digitalisierung und Automatisierung. Hier ist der entscheidende Hebel, um Prozesse effizienter, sicherer und nachhaltiger zu gestalten. In der vorliegenden Strategie werden die Handlungsfelder und Innovationen identifiziert, die wesentlich dazu beitragen, den Güterverkehr auf der Schiene zu einer tragenden Säule für ein effizientes, nachhaltiges und multimodales Verkehrssystem zu entwickeln.

Politik und Branche wollen die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene durch den Einsatz innovativer Technologien stärken, den Innovationsstau abbauen und gleichzeitig einen bedeutenden Beitrag zur angestrebten Verkehrsverlagerung und damit zum Klimaschutz leisten. Dafür sind in den nächsten Jahren erhebliche Investitionen

erforderlich. Automatisierung und Digitalisierung ermöglichen es den im Schienengüterverkehr tätigen Unternehmen, über die gesamte Transportkette hinweg Ressourcen optimal zu nutzen, Betriebsabläufe zu optimieren, die Servicequalität für ihre Kunden zu verbessern und ein für Fachkräfte attraktives Arbeitsumfeld zu schaffen.

Ich lade Sie alle ein, die Umsetzung dieser Strategie aktiv zu gestalten und gemeinsam die Weichen für eine wettbewerbsfähige Zukunft zu stellen. Lassen Sie uns diese Chance nutzen, um den Schienengüterverkehr in Deutschland in eine erfolgreiche Zukunft zu führen.

Susanne Henckel
Staatssekretärin im
Bundesministerium für Digitales und Verkehr

Inhaltsverzeichnis

I.	Ausgangslage	3
II.	Potenziale und Zielbild eines digitalisierten und automatisierten Schienengüterverkehrs.	5
III.	Daten und rechtliche Rahmenbedingen als Querschnittsthemen	7
1.	Die Rolle von Daten im modernen Schienengüterverkehr	7
2.	Rechtliche Rahmenbedingungen	9
IV.	Handlungsfelder, Top-Innovationen und Handlungsempfehlungen	10
1.	Nahtloser grenzüberschreitender Schienengüterverkehr	12
2.	Integrierte Leit- und Sicherungstechnik	12
3.	Echtzeitbasiertes Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem	13
4.	Einführung digitale Instandhaltung der Infrastruktur	13
5.	Vollautomatisiertes Fahren von Zügen im Schienengüterverkehr	14
6.	Digitale Automatische Kupplung	14
7.	Innovative Güterwagen-Bremse	15
8.	Schaffung der Voraussetzungen für eine verstärkte Kollaboration/ Teilen von Ressourcen zwischen den Eisenbahn-Dienstleistern	15
9.	Automatisieren/Optimieren der Prozesse in örtlichen Anlagen und Zugangsstellen des Schienengüterverkehrs	16
10.	Automatisierte Disposition und Planung der Transportdurchführung	16
11.	Digitalisierung der Schnittstellen zu Transportkunden (Verladern)	17
V.	Fazit und Ausblick	18
VI.	Abkürzungsverzeichnis	19
VII.	Anhänge	20
	Anhang 1: Übersicht der Arbeitspakete, Berichterstatter und Mitarbeitende	20
	Anhang 2: Übersicht über die 36 herausgearbeiteten Innovationen	22
	Anhang 3: Die 11 Top-Innovationen im Detail	24

I. Ausgangslage

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 den Anteil des Schienengüterverkehrs (SGV) am Güterverkehr von aktuell 20 Prozent auf 25 Prozent deutlich zu steigern. Eine umfassende, durchgängige Automatisierung und Digitalisierung des SGV ist – neben Ausbau und Modernisierung der Schieneninfrastruktur – der entscheidende Baustein zur Erreichung dieses ehrgeizigen Ziels, da sie die Wettbewerbsfähigkeit des SGV nachhaltig stärken wird.

Aus diesem Grund hat der Runde Tisch SGV im Juni 2022 entschieden, dafür eine eigenständige Strategie auszuarbeiten. Im September 2022 wurde eine Unterarbeitsgruppe Automatisierung und Digitalisierung (UAG) der AG Umsetzung Masterplan SGV gebildet, in der Expertinnen und Experten der Branche, von Politik und Wissenschaft zusammenarbeiten (s. Anhang 1). In vier Arbeitspaketen „Innovative Fahrzeugtechnik“, „Infrastrukturnutzung“, „Transportketten-Prozesse“ und „Daten“ hat die UAG – basierend auf einer Bestandsaufnahme und unter Nutzung von Best Practices in anderen Ländern und bei anderen Verkehrsträgern – die Ziele, Handlungsfelder und Umsetzungsmaßnahmen einer verstärkten Digitalisierung und Automatisierung des SGV herausgearbeitet.

Die Digitalisierung vernetzt die einzelnen Elemente und Akteure des SGV miteinander und ist eine wesentliche Voraussetzung für die Logistikfähigkeit, die Integration in digitale Versorgungsketten der Transportkunden und für die weitere Automatisierung. Der SGV ist aufgrund der technischen und betrieblichen Regelwerke, der Notwendigkeit der vorausgehenden Bestellung, der Abhängigkeit von verfügbaren Infrastruktur-Kapazitäten („Trassen“) sowie der Vielzahl zusammenwirkender Elemente und Akteure

vergleichsweise komplex. Andererseits ist der Schienenverkehr aufgrund seiner Spurführung, der bestehenden sicheren Interaktion von Fahrzeug und Fahrzeugen sowie durch das Fahren auf einer nicht-öffentlichen Infrastruktur gegenüber anderen Verkehrsträgern geradezu prädestiniert für eine Automatisierung.

Gründe, warum Digitalisierung und Automatisierung im SGV vergleichsweise langsam vorankommen, sind die im Vergleich zum Straßenverkehr erheblich geringeren Skaleneffekte (wesentlich kleinere Fahrzeug-Flotten, deutlich geringere Anzahl Fahrzeug-Hersteller), die unmittelbar auf die Einführungskosten der Innovationen durchschlagen, sowie die lange Lebensdauer der Fahrzeuge. Hinzu kommt, dass sich aufgrund des Systemcharakters des Schienenverkehrs der Nutzen von Innovationen im SGV nur sehr beschränkt entfaltet, wenn die Innovation nur bei einem einzelnen Unternehmen eingeführt wird. Effizienzsteigerungen und eine neue Angebotsqualität entstehen häufig erst, wenn die Innovation das Gesamtsystem des SGV durchdringt und entsprechend verbessert. Die erheblichen Aufwände für derartige grundlegende, durchgängige Innovationen übersteigen die beschränkten wirtschaftlichen Möglichkeiten der im SGV tätigen Akteure bei Weitem.

Der Innovationsrückstand im SGV ist demzufolge beträchtlich. Dies betrifft sowohl die eingesetzten Fahrzeugtechnologien und die zugrundeliegenden betrieblichen Prozesse, aber auch Forschung und Entwicklung digitaler und automatisierter Prozesse sowie die Schaffung notwendiger betrieblicher, technischer und rechtlicher Rahmenbedingungen für die Digitalisierung und Automatisierung.

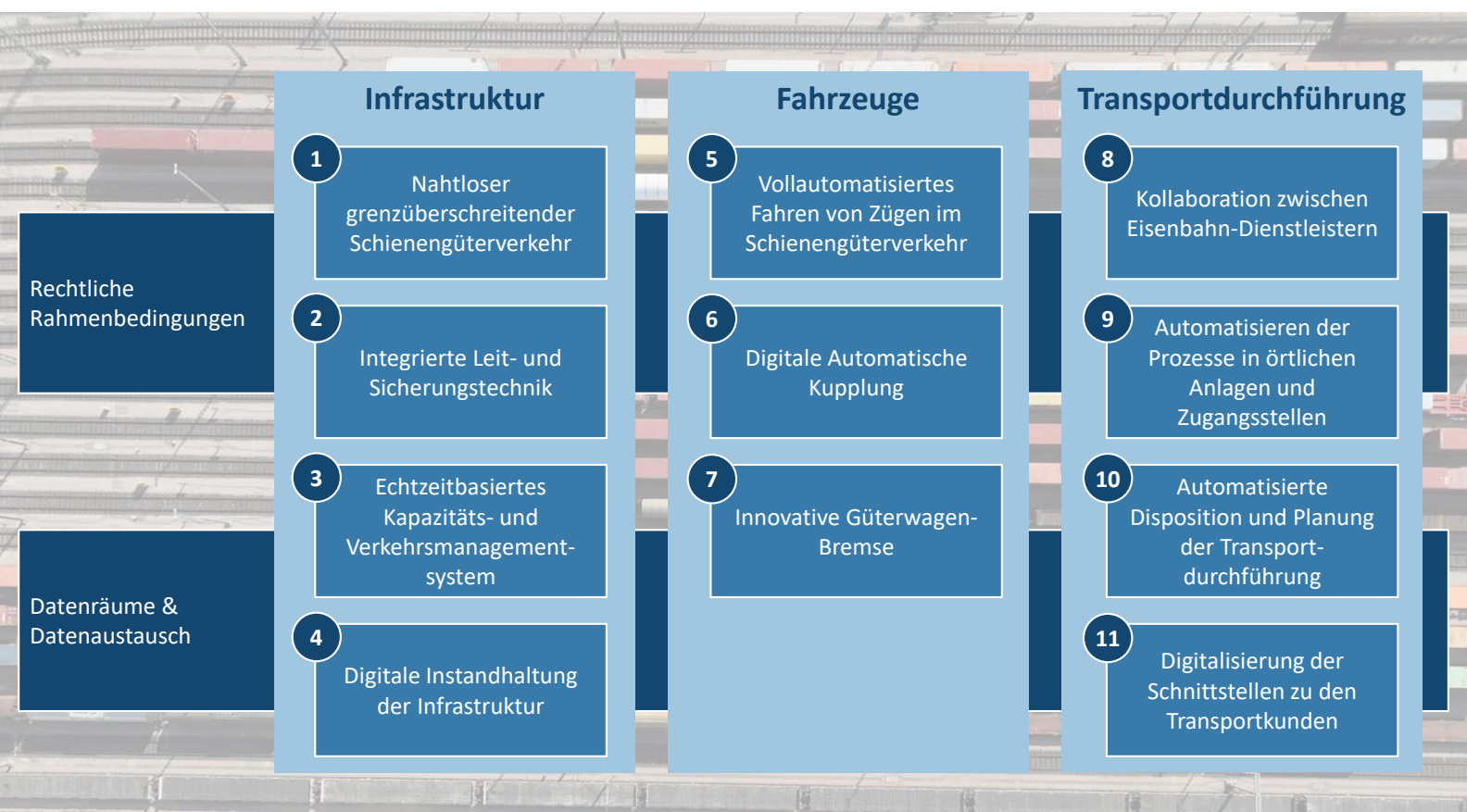
Der SGV benötigt eine klare Perspektive für die Beschleunigung der Digitalisierungs- und Automatisierungsmaßnahmen. Dies gilt insbesondere für die in dieser Strategie herausgearbeiteten vordringlichen 11 Top-Innovationen, denen im Expertenkreis der größte Hebel bezüglich Wirtschaftlichkeits-, Qualitäts- und Kapazitätssteigerungen beigemessen wird. Die bis Ende des Jahrzehnts zu erwartenden technischen Entwicklungen beim Lkw (u. a. Dekarbonisierung und Autonomes Fahren) werden die Wettbewerbsposition des Straßengüterverkehrs stärken und bestehende Kostenvorteile weiter ausbauen. Auch um einer möglichen Rückverlagerung von Gütern auf die Straße nachhaltig entgegenzuwirken, gilt es, den SGV umfassend zu modernisieren.

Auch vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung 2017 zusammen mit dem SGV-Sektor den „Masterplan Schienengüterverkehr“ auf den Weg gebracht. Darin werden bereits eine Beschleunigung von Investitionen in die Digitalisierung und Automatisierung der Schieneninfrastruktur und des Betriebs im SGV gefordert, um mehr Kapazität, Effizienz, Pünktlichkeit

und Zuverlässigkeit zu erreichen. So wurde in Umsetzung des Masterplans beispielsweise das Bundesprogramm Zukunft Schienengüterverkehr (Z-SGV) geschaffen, das seit 2020 gezielt die Entwicklung und Markteinführung innovativer Technologien fördert.

Mit der hier vorgelegten Strategie soll aufgezeigt werden, wie kurz-, mittel und langfristig Digitalisierung und Automatisierung des SGV beschleunigt weiterentwickelt und umgesetzt werden können. Und sie soll Anhaltspunkte dafür bieten, welche gesetzlichen, technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen dazu geschaffen werden müssen. Sie schafft damit eine Grundlage für die weitere Arbeit von Politik, Branche und Wissenschaft zur umfassenden Automatisierung und Digitalisierung des Schienengüterverkehrs.

Die folgende Abbildung ordnet die Innovationen den maßgeblichen Teilsystemen des SGV *Infrastruktur – Fahrzeuge – Transportdurchführung* zu, ergänzt um die übergreifenden Themenfelder „Rechtliche Rahmenbedingungen“ und „Datenräume & Datenaustausch“.



II. Potenziale und Zielbild eines digitalisierten und automatisierten Schienen-güterverkehrs

Ein leistungsstarker und zukunftsfähiger SGV ist die tragende Säule für ein nachhaltiges, klimafreundliches und multimodales Verkehrssystem. Der SGV besitzt für die notwendige Energie- und Klimawende systembedingte Vorteile, die ihn langfristig zum Kernelement eines nachhaltigen Güterverkehrs machen: ein energieeffizientes Rad-Schiene-System, die Fähigkeit zum Transport großer Nutzlasten, eine hohe Massenleistungsfähigkeit, ein bereits heute hoher Anteil an Elektromobilität, eine unkomplizierte, nahezu verlustlose Umwandlung der elektrischen Energie in Vortriebskraft sowie die einzigartige Rückspeisung von Bremsenergie ins Bahnstromnetz. Ein einzelner Güterzug allein kann bis zu 52 Lkw ersetzen und leistet damit vor dem Hintergrund eines langfristig prognostizierten weiteren Wachstums des Güterverkehrs einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung der Straße. Digitale und automatisierte Prozesse machen die Leistungen des SGV einfacher, zuverlässiger, flexibler und kostengünstiger.

Das Zielbild eines durchgängig digitalisierten und automatisierten SGV führt zu einem grundlegenden Paradigmenwechsel im Güterverkehr. Dies erfordert eine vergleichbar hohe Innovationstiefe und -geschwindigkeit wie bei anderen Verkehrsträgern, einen ganzheitlichen, umfassenden Ansatz einer digitalen Transfor-

mation und muss weit über die bereits erfolgte Umsetzung einzelner, partieller Maßnahmen im Bereich der Digitalisierung des SGV hinausgehen. Von der Beauftragung eines Transports durch den Verloader oder Spediteur bis hin zur Durchführung des Eisenbahnbetriebs in den örtlichen Anlagen (z. B. Gleisanschlüssen und Rangierbahnhöfen) und auf der Strecke gilt es, eine digitalisierte und automatisierte Eisenbahn für das 21. Jahrhundert zu gestalten – hoch effizient, zuverlässig und wirtschaftlich nachhaltig tragfähig.

Wesentliche Bausteine des Zielbildes sind:

- ein vollständig digitalisierter und automatisierter Eisenbahnbetrieb im SGV,
- eine moderne und effiziente Infrastruktur für den SGV (Digitale Schiene, automatisierte Zugbildungsanlagen, Gleisanschlüsse und Terminals, automatisierte Be-/Entladung),
- moderne, mit Telematik und Sensorik ausgestattete Fahrzeuge,
- intelligente Planungs- und Dispositionssysteme zur Steuerung der operativen betrieblichen Abwicklung des SGV und zur Beherrschung von Abweichungen vom Regelbetrieb,

- eine durchgängige Digitalisierung der Transportkette, die einen einfachen Zugang der Transportkunden zum SGV, eine kontrollierte Qualität und eine hohe Transparenz der Transport-Dienstleistungen in den Lieferketten national und international ermöglicht und allen beteiligten Akteuren in der Transportkette identische und standardisierte Informationen vorausseilend, Transport- (Sendungs-) begleitend in Echtzeit und retrospektiv zur Verfügung stellt, sowie
- der Einsatz von Sensorik/Telematik-Komponenten (Internet-of-Things, IoT), gemeinsamen Datenräumen und digitalen Services zur Generierung von Daten, zur Schaffung von Datentransparenz und darauf aufbauend zur Optimierung der Prozesse, der Ressourcen und der Infrastrukturnutzung.

III. Daten und rechtliche Rahmenbedingungen als Querschnittsthemen

Alle in dieser Strategie herausgearbeiteten Top-Innovationen sind in unterschiedlichen Ausprägungsgraden darauf angewiesen, dass entsprechende Daten vorhanden sind, genutzt werden können und rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, um entsprechende Innovationen möglich zu machen und bestehende Hemmnisse zu beseitigen. Daher werden diese Querschnittsthemen im Folgenden vor den einzelnen Top-Innovationen behandelt.

1. Die Rolle von Daten im modernen Schienengüterverkehr

Digitalisierung und Automatisierung basieren auf digitalen Informationen (Daten), die erfasst, verarbeitet, weitergereicht und für die Nutzer bereitgestellt werden. Innovative Analyse- und Verarbeitungsverfahren wie Optimierungsalgorithmen oder KI-Services ermöglichen die Automatisierung und Flexibilisierung von Planungs- und Dispositions-Prozessen sowie die unternehmensübergreifende Nutzung der Daten. Bestandteil der Strategie zur umfassenden Automatisierung und Digitalisierung des SGV ist deshalb auch die kontinuierliche Erforschung, Testung und Nutzung innovativer digitaler Technologien für die spezifischen Belange der Branche.

Folgende Themen sind dabei von besonderer Bedeutung:

- Inhalte und Formate für den Datenaustausch im SGV müssen international abgestimmt und standardisiert werden.
- Die reale Welt des SGV mit den zusammenwirkenden Elementen und Relationen muss in digitalen Modellen (z. B. Digitaler Zwilling und Digitales Register) abgebildet werden.
- Die Möglichkeiten der Datengenerierung z. B. bei den Fahrzeugen und Anlagen des SGV müssen verbreitert und Datenquellen über das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) miteinander verknüpft werden.
- Die quellunabhängig standardisierte Speicherung, Verarbeitung und Bereitstellung von Daten muss für den automatisierten Eisenbahnbetrieb (z. B. Data Factory) vorangetrieben werden.
- Die Datenaufbereitung und Datenverarbeitung/-nutzung muss durch Optimierungsverfahren und KI-Services unterstützt werden.
- Die Datentransparenz über die gesamte End-to-end-Transportkette muss gewährleistet werden.
- Durch die Schaffung gemeinsamer Datenräume soll die Zusammenarbeit der Akteure des SGV ermöglicht und unterstützt werden.
- Bedrohungen in digitalisierten/automatisierten Prozessen durch Cyberkriminalität

müssen analysiert und geeignete Schutzmaßnahmen erforscht/erarbeitet werden, insbesondere für unternehmenskritische IT-Anwendungen im SGV.

Eine granulare Datenerfassung bildet das Fundament für eine intelligente Steuerung des SGV, die nicht nur operative Exzellenz ermöglicht, sondern auch einen nachhaltigen und zukunftsfähigen Betrieb sicherstellt. Das Erfassen und Analysieren von Daten in Echtzeit steigert die Effizienz von Abläufen und ermöglicht, dass proaktiv Wartungsbedarfe erkannt und logistische Herausforderungen effektiver bewältigt werden.

Ein standardisierter Datenaustausch und „offene“ Schnittstellen zwischen allen bzw. für alle Akteure des SGV sind ein elementares Erfolgskriterium zur Digitalisierung. Eine Vielzahl von Datenquellen, Plattformen und Systemen führt zu Problemen bei der Vernetzung von Akteuren. Auch haben insbesondere kleine und mittlere EVU nicht die Ressourcen, eigene Lösungen zu entwickeln. Aus diesem Grund sollten die Standards in der Branche (z. B. EDIGES, TAF-TSI u. a.) gestärkt werden.

Eine Möglichkeit zum Datenaustausch zwischen den Akteuren des SGV ist die Schaffung von gemeinsamen Datenräumen und Plattformen für die Branche zur kooperativen Nutzung von Daten. Damit können die Transparenz über die gesamte Transportkette verbessert und die gegenseitige Nutzung verfügbarer Ressourcen wie Personale, Fahrzeuge oder Zugkapazitäten unterstützt werden. Ein Beispiel ist der Datenraum Industrial Data Space (IDS). Dieser ist ein virtueller Datenraum, der den sicheren Austausch und die einfache Verknüpfung von Daten in Geschäftsökosystemen auf Basis von Standards und mit Hilfe gemeinschaftlicher Governance-Modelle unterstützt. Ein **Rail Data Space** wäre eine branchenspezifische Ausprägung des

IDS und würde Akzeptanz schaffen, den Datenaustausch in der Branche verstärken und die Digitalisierung weiter voranbringen.

Für die Automatisierung und Digitalisierung des Eisenbahnbetriebs ist eine zentrale Quelle für digitale Infrastrukturdaten („Digitales Register“) essenziell, in dem Daten aus unterschiedlichen Quellen einheitlich gespeichert und aufbereitet mit weiteren Datensätzen verarbeitet werden. Ein exaktes digitales Abbild von Fahrwegelementen (z. B. Bahnsteige, Weichen, Bahnübergänge, Schilder) und deren Eigenschaften (z. B. zulässige Geschwindigkeiten, maximale Achslasten) dient als Grundlage für die Erstellung von hochauflösenden digitalen Karten.

Grundsätzlich bieten sich mit „Digitalen Zwillingen“ Möglichkeiten zur Optimierung in der gesamten Wertschöpfungskette. Das kann bedeuten, dass sowohl Ressourcen wie Lokomotiven oder Wagen im Kleinen, aber auch Transportsysteme im Großen dargestellt werden. In Digitalen Zwillingen können auch weitere Daten verarbeitet werden, z. B. im Bereich der Umfeld- und Hinderniserkennung.

KI-Services werden zudem zu einem elementaren Treiber der Innovationen, so hilft beispielsweise eine KI-basierte Zustandsüberwachung von Wagen und Lokomotiven, die Prozesse zu optimieren. KI-basierte Software für sensorbasierte Wahrnehmungssysteme wird insbesondere auch im Kontext vollautomatisiertes Fahren benötigt.

Handlungsempfehlungen

- Bestehende Hemmnisse für die Digitalisierung durch unterschiedliche Bedeutung/ Interpretation von Daten (z. B. Zugnummern) müssen aufgezeigt und (international) beseitigt werden, z. B. durch Datenstandards.

- Die bereits bestehenden Datenstandards für den bilateralen Datenaustausch im SGV (z. B. TAF/TSI, EDIGES) müssen im Hinblick auf ihre Nutzung für den Datenaustausch zwischen allen Akteuren des SGV analysiert und ggf. erweitert werden.
- Die bestehenden Ansätze zur Schaffung unternehmensübergreifender gemeinsamer Datenräume für den SGV (z. B. Railfreight Datahub, KV 4.0 Datenhub, Rail Data Space, WilsonShare) müssen analysiert und – wo möglich und sinnvoll – abgestimmt oder zusammengeführt werden.
- Weitere Anwendungsfälle zur Integration und Vernetzung intelligenter Systemkomponenten im SGV im IoT müssen aufgezeigt, erprobt und umgesetzt werden.
- Für die in digitalisierten/automatisierten Prozessen eingesetzten Komponenten/Technologien müssen mögliche Bedrohungen durch Cybersecurity analysiert und Schutzmaßnahmen erforscht/erarbeitet werden.
- Realisierung eines „Digitalen Registers“ als Plattformlösung für einheitliche, digitale Infrastrukturdaten und eine digitale Karte.
- Aufbau und Betrieb von anwendungsspezifischen Plattformlösungen für die Erzeugung, Sammlung und Bereitstellung von Sensor- und Kameradaten.

2. Rechtliche Rahmenbedingungen

Ein umfassendes Regelwerk speziell für einen automatisierten und digitalisierten SGV gibt es nicht. Bei Forschungs- und Testtätigkeiten stützt man sich daher aktuell auf die bestehende allgemeine Rechtslage und Ausnahmegenehmi-

gungen. Für eine umfassende Automatisierung und Digitalisierung des SGV ist es aber essenziell, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen die Einführung von Innovationen ermöglichen und nicht hemmen. Dort, wo es erforderlich ist, sind daher rechtliche Rahmenbedingungen auf ihre Eignung für aktuelle Entwicklungen zu hinterfragen, vorausschauend anzupassen oder zu schaffen. Orientierung sollte dabei immer sein, einen bedarfsgerechten, technologieoffenen, praxistauglichen und bürokratiearmen Rechtsrahmen zu entwickeln.

Dies betrifft beispielsweise Vorschriften und Regelungen in Bezug auf das automatisierte Fahren, das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS, Robotik und KI-Einsatz („Nachweis gleicher Sicherheit“, Haftungsfragen), Zulassung und Betrieb automatisierter Prozesse in örtlichen Anlagen und Zugangsstellen des SGV (u. a. automatisierte Be- und Entladung von Güterwagen, automatisierter Umschlag von Ladeeinheiten, automatisierte Bremsprobe) sowie datenschutzrechtliche Herausforderungen im Bereich Datenaustausch und -sicherheit (insbesondere zwischen Infrastruktur-Betreibern und -Nutzern sowie kunden- oder ladungsspezifische Daten zwischen Verladern, EVU und sonstigen Beteiligten). Darüber hinaus sollten Vorschriften modernisiert und harmonisiert werden, die aktuell einer verstärkten Zusammenarbeit der Akteure und einer einfachen, effizienten gemeinsamen Nutzung von Ressourcen im SGV entgegenstehen.

Schließlich sollten die bestehenden nationalen, betrieblichen und technischen Regelwerke und Daten möglichst kurzfristig auf europäischer Ebene harmonisiert werden, um einen reibungslosen grenzüberschreitenden SGV zu ermöglichen.

IV. Handlungsfelder, Top-Innovationen und Handlungsempfehlungen

Auf Basis einer Bestandsaufnahme (wo stehen wir?) und des Zielbilds (wo wollen wir hin?) wurden in der UAG AutoDig Handlungsfelder für eine umfassende Automatisierung und Digitalisierung des SGV identifiziert sowie dazugehörige Innovationen und Entwicklungsschwerpunkte und Handlungsempfehlungen herausgearbeitet.

Die dabei identifizierten 36 Innovationen/Entwicklungsmaßnahmen (Anhang 2) wurden anschließend anhand der folgenden Nutzen-Kriterien bewertet und priorisiert:

- Gewährleistet Logistikfähigkeit,
- Erhält/steigert Wettbewerbsfähigkeit,
- Reduziert Kosten,
- Trägt zum Klimaschutz bei,
- Steigert Zuverlässigkeit,
- Verkürzt Transportdauer,
- Reduziert Fachkräftemangel.

Darüber hinaus wurden folgende weitere Kriterien für eine Bewertung berücksichtigt:

- Komplexität der Umsetzung,

- Wirtschaftlichkeit der Umsetzung für einzelne Unternehmen,
- Reifegrad der Innovation/Stand der Entwicklung,
- Marktanteil/Mindestausrüstungsstand im Sektor, bis Innovationseffekt eintritt.

Im Ergebnis der Bewertung und der dazu geführten Diskussionen der Expertinnen und Experten in der UAG AutoDig sind 11 Top-Innovationen ausgewählt worden, die im Weiteren näher beschrieben und mit konkreten Handlungsempfehlungen unterlegt werden. Die Reihung der Innovationen folgt thematischen Schwerpunkten und impliziert keine Priorisierung.

Zwischen den ausgewählten Top-Innovationen bestehen vielfältige Zusammenhänge und Abhängigkeiten. Außerdem entfalten eine Reihe der Innovationen ihren Nutzen erst bei einer systemhaften, flächendeckenden und diskriminierungsfreien Einführung in der Branche.

Alle Innovationen basieren auf dem aktuellen Stand der Entwicklung von Komponenten und Verfahren der Informations- und Kommunikationstechnologie.

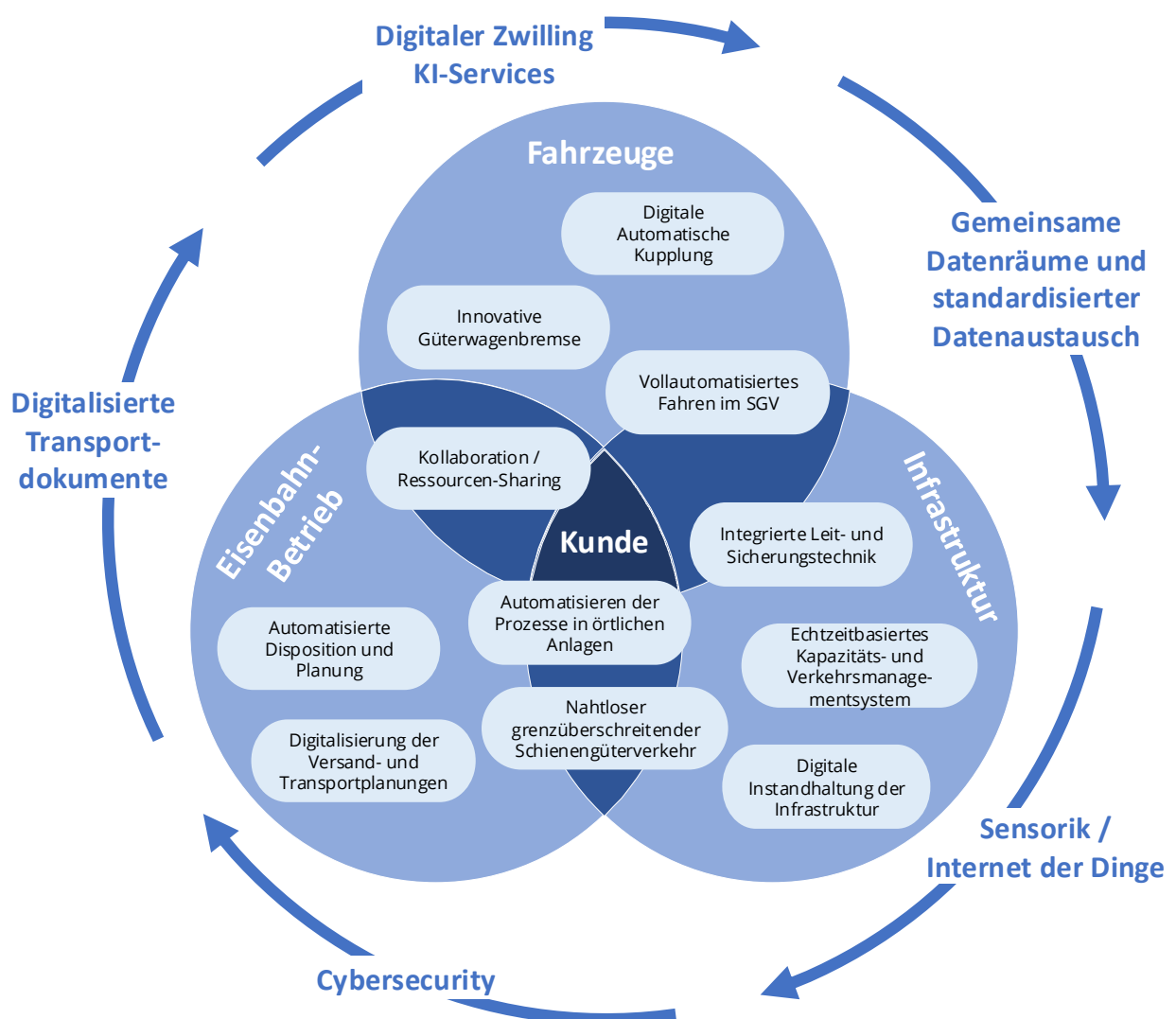
Der Systemcharakter im Zusammenwirken von Fahrzeugen, Infrastruktur, Transportdurchfüh-

zung im Eisenbahn-Betrieb und Kunden des SGV wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht und ist bei der weiteren Umsetzung der Strategie unbedingt zu berücksichtigen.

Die hier identifizierten, folgenden 11 Top-Innovationen können den wichtigsten Beitrag für

entscheidende Fortschritte bei Automatisierung und Digitalisierung des SGV leisten und sollten daher prioritär umgesetzt werden.

Sie werden nachfolgend kurz vorgestellt und ausführlich in Anhang 3 dargestellt.



1. *Nahtloser grenzüberschreitender Schienengüterverkehr*

Die jeweils nur national gültigen und europaweit nicht harmonisierten rechtlichen, betrieblichen und technischen Regelwerke behindern einen nahtlosen SGV im europäischen Maßstab und bilden wettbewerbsverzerrende Hürden gerade im Vergleich zum straßengebundenen Güterverkehr. Mit der europaweiten Einführung des Zugbeeinflussungssystems European Train Control System (ETCS) wird perspektivisch der freizügige, grenzüberschreitende Einsatz von Lokomotiven und Personal erleichtert, unter anderem durch die Nutzung von europaweit standardisierten Datenpunkten (Balisen) im Gleis für die Übertragung von Streckeninformationen an das Fahrzeug. Gleichzeitig sind auch der grenzüberschreitende Datenaustausch, die Trassenvergabe und Disposition, das Störungsmanagement und die Zuglaufprognosen wesentliche Hebel für einen reibungslosen, wettbewerbsfähigen internationalen Güterverkehr.

Handlungsempfehlungen

- Kurzfristige und umfassende Harmonisierung der bestehenden nationalen rechtlichen, betrieblichen und technischen Regelwerke und Daten, die einen reibungslosen grenzüberschreitenden SGV verhindern.
- Schaffung internationaler Standards für Datenaustausch grenzüberschreitender SGV-Verkehre; konsequente Nutzung vorhandener Standards wie beispielsweise EDIGES, ein speziell für den Kombinierten Verkehr entwickeltes Datenübertragungsformat (Electronic Data Interchange for Intermodal Global European Standard).

- Optimierung der Umsetzung des grenzüberschreitenden Managements für die Disposition internationaler Züge und die Trassenvergabe.
- Ausrüstung der Grenzbetriebsstrecken mit ETCS bzw. Installation der dynamischen Balisen-gestützten Transition innerhalb der nationalen Zugbeeinflussungssysteme, wenn kein ETCS ausgerüstet ist.

2. *Integrierte Leit- und Sicherungstechnik*

Die konventionelle Leit- und Sicherungstechnik basiert auf der sogenannten „blockzentrischen“ Sicherungslogik, welche für alle verkehrenden Züge gleichermaßen ausgelegt ist. Dies begrenzt die maximal mögliche Zugfolge und damit auch die Kapazität der Strecke. Eine integrierte Leit- und Sicherungstechnik mit „zugorientierter“ Sicherungslogik erlaubt, dass Züge in individuellen, von den Fahrzeugeigenschaften (Geschwindigkeit, Masse, Bremsvermögen etc.) abhängigen Abständen (im sogenannten „Moving Block“) fahren können, um so die infrastrukturellen Gegebenheiten optimal auszunutzen. Da gleichzeitig auch die technischen Elemente im Gleis auf ein Minimum reduziert werden können, ergeben sich mit der Einführung von ETCS Level 2 Moving Block eine erhöhte Zuverlässigkeit und niedrigere infrastrukturseitige Kosten bei gleichzeitig signifikant erhöhter Streckenkapazität.

Handlungsempfehlungen

- Schaffen der fahrzeugseitigen Voraussetzungen für eine unabhängige fahrzeugseitige, selbstständige und kontinuierliche Vollständigkeitsprüfung des Zuges und Bestätigung

der Zuglänge vor und während der Fahrt als Grundlage für die dynamische Ermittlung der Streckenbelegung (Zugintegrität, Zuglänge).

- Schaffen der infrastrukturseitigen Voraussetzungen, insbesondere Entwicklung, Standardisierung und Zulassung einer zugorientierten Sicherungslogik sowie streckenseitige Ausrüstung mit ETCS-Technologie.

3. *Echtzeitbasiertes Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem*

Auf einem hochausgelasteten Streckennetz sind Kapazitätsplanung und Verkehrssteuerung das Herzstück für eine optimale Nutzung der Infrastruktur. Mit einem echtzeitbasierten Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem (CTMS - Capacity & Traffic Management System) wird der Eisenbahnbetrieb unter Berücksichtigung der Kapazitätsbedarfe (Zugfahrten, Baustellen, etc.) durchgängig in einem System automatisiert geplant, überwacht und gesteuert. Fahrpläne, Zugfolgen und Trassen werden automatisiert erstellt und z. B. im Fall einer Störung echtzeitnah modifiziert. In Kombination mit einer netzweiten Betrachtung optimiert das CTMS die Belegung des gesamten Netzes und steigert somit Kapazität und Pünktlichkeit.

Handlungsempfehlungen

- Entwicklung einer „Optimierungskomponente“ für die automatische, echtzeitnahe Erstellung von Fahrplänen bzw. Anpassungen bestehender Fahrpläne in Bezug auf unterschiedliche Zielkriterien (Kapazität, Pünktlichkeit, Energieverbrauch etc.).

- Entwicklung einer „Ansteuerungskomponente“ für die automatische Bedienung der streckenseitigen Leit- und Sicherungstechnik, also die dynamische Umsetzung der optimierten Fahrpläne und Zugfolgen in Stellbefehle für Systemelemente der Infrastruktur (z. B. Weichen, Signale).
- Teil(-automatisierung) der Interaktion zwischen EIU und EVU in der Disposition durch Neugestaltung von Schnittstellen und Prozessen.
- Sicherstellen von Konsistenz und Aktualität der Fahrzeug- und Zugdaten für jeden Planungs- und Betriebszustand.

4. *Einführung digitale Instandhaltung der Infrastruktur*

Der aktuell etablierte Ansatz einer vorbeugenden Instandhaltung in festgelegten Zeitintervallen kommt an seine Grenzen und muss um eine auf Daten basierende digitale Instandhaltung ergänzt werden. Durch die Nutzung von permanent verfügbaren Infrastruktur-Zustandsdaten können die Instandhaltungszeitpunkte zustands- und nutzungsbasiert festgelegt werden, um intakte Komponenten nicht unnötig früh, hochbeanspruchte Komponenten zugleich aber rechtzeitig vor dem Ausfall austauschen zu können. Damit werden ungeplante Betriebsstörungen vermieden und die Verfügbarkeit der Infrastruktur erhöht.

Handlungsempfehlungen

- Aufbau einer zentralen Datenhaltung inkl. eines wirklichkeitsgetreuen digitalen Abbildes der Eisenbahninfrastruktur („Digitaler Zwilling“) für die digitale Instandhaltung der

Schieneninfrastruktur inklusive Konzepte zur Datenerfassung.

- Ausbau der zustandsbasierten und prädiktiven Instandhaltung durch Entwicklung von Systemen zur Diagnose und Prognose auf Basis von Analytik und KI.
- Umsetzung eines ganzheitlichen Lebenszyklusmanagements, mit dem eine wirksame und effektive Instandhaltung der Schieneninfrastruktur erfolgen kann.

5. Vollautomatisiertes Fahren von Zügen im Schienengüterverkehr

Eine vollautomatisierte Zugfahrt erfolgt im Regelbetrieb ohne Betriebspersonal an Bord der Lokomotive. Die Einführung von ATO (Automatic Train Operation) mit GoA4 (Grade of Automation 4) setzt weitreichende Innovationen und Investitionen in die fahrzeug- und infrastrukturseitige Ausrüstung voraus. Bei erfolgreicher Realisierung sichert die Technologie die zukünftige Geschäftsfähigkeit von SGV-Unternehmen und trägt wesentlich zur Verbesserung der Zuverlässigkeit im SGV bei. In Kombination mit CTMS (s. o. 3) und einer integrierten Zugssicherung (s. o. 2) ergibt sich das weitere Potenzial einer Erhöhung der Energieeffizienz sowie einer Steigerung der Durchschnittsgeschwindigkeit durch eine vorausschauende Verkehrsplanung in Echtzeit in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrzeugeigenschaften.

Handlungsempfehlungen

- Entwicklung, Standardisierung und Zulassung von hochautomatisiertem Fahren (ATO GoA2) für Güterzüge in Deutschland.

- Konsequente Ausrüstung der Lokomotiven mit einem Modul für automatisiertes Fahren auf der Strecke (ATO).

- Entwicklung, Standardisierung und Zulassung von vollautomatisiertem, fahrerlosem Fahren (ATO GoA4) für Güterzüge in Deutschland.

- Einrichtung einer Teststrecke auf einem Hauptgüterverkehrskorridor, um die verschiedenen Innovationen in ihrer Kombination zu erproben.

6. Digitale Automatische Kupplung

Die Digitale Automatische Kupplung (DAK) soll den SGV in die digitale Mobilitätszukunft führen. Im Zielzustand automatisiert sie nicht nur die manuellen Kupplungsvorgänge von Güterwagen und Lokomotiven, sondern schafft zugleich eine mechanische, pneumatische, aber vor allem auch elektrische und digitale Verbindung zwischen den Wagen. Neben beschleunigten Kuppelprozessen werden so auch Voraussetzungen für sichere Datenkommunikation und durchgehende Energieversorgung entlang des gesamten Güterzuges ermöglicht. Darauf können neue Telematikanwendungen und andere Innovationen im Bereich Digitalisierung und Automatisierung aufbauen. Die DAK kann damit eine Basis für den intelligenten Güterzug sein und seine nachhaltige Einbindung in die moderne Logistikwelt schaffen.

Handlungsempfehlungen

Unterstützung der DAK-Einführung auf nationaler und EU-Ebene durch

- Fortführung des DAK-Demonstratorzuges „DAC4EU“ bis 2026,
- Förderung, Ausrüstung und Betrieb der DAK-Pilotzüge ab 2026 („Pioneer Trains“),
- Aufbau eines nationalen DAK-Umsetzungs-Programms in Deutschland zur Vorbereitung der DAK-Migration (in enger Abstimmung mit EU-Aktivitäten) in 2025,
- Politische Unterstützung bei der Entscheidungsfindung zur Einführung einer DAK auf EU-Ebene sowie für die Ausgestaltung einer europäischen Förderung.

7. Innovative Güterwagen-Bremse

Für das Bremsen von Güterzügen kommen seit über 100 Jahren Luftdruckbremsen zum Einsatz, die Druckluft als Energieträger sowie zur Steuerung des Bremsvorgangs verwenden.

Die Weiterentwicklung hin zu einer modernen, zeitgemäßen Bremse besteht in der vollständigen Digitalisierung der Ansteuerung der einzelnen Bauteile. Aufgrund der im Vergleich sehr schnellen Übertragungszeit elektrischer, digitaler Signale bremsen alle Güterwagen im Zug unmittelbar und gleichzeitig. Dies ermöglicht deutlich größere Zuglängen, und damit eine spürbare Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Güterverkehrs auf der Schiene. Die digitale Echtzeit-Überwachung der Güterwagenbremse schafft zudem die Voraussetzungen für eine effizientere Instandhaltung und entsprechend reduzierte Wartungskosten.

Handlungsempfehlungen

- Wissenschaftliche Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten und Nutzenpotenziale einer volldigitalisierten Güterwagenbremse.
- Erforschung, Entwicklung und Erprobung einer volldigitalisierten Güterwagen-Bremse u. a. im Zusammenspiel mit weiteren hier genannten Innovationsthemen.

8. Schaffung der Voraussetzungen für eine verstärkte Kollaboration/Teilen von Ressourcen zwischen den Eisenbahn-Dienstleistern

Die effiziente Nutzung der Ressourcen Personale (Triebfahrzeugführer, Wagenmeister), Rollmaterial (Lokomotiven, Wagen) und Züge (Trassen, Zugauslastung) im SGV senkt Kosten, verbessert die Zuverlässigkeit und mindert den Fachkräftemangel. Aktuell führen die rein auf das eigene Unternehmen bezogenen Planungen vielfach zu Ineffizienzen. Die fehlende unternehmensübergreifende Transparenz verhindert weitere Effizienzgewinne. Hohe bürokratische Hürden und Auflagen aus Vorschriften und Regelwerken sowie die Komplexität des ECM-Systems (Entity in Charge of Maintenance) für Fahrzeuge erschweren einen flexiblen und kurzfristigen Ressourcenaustausch. Digitalisierung, Standardisierung sowie ein einfacher, unternehmensübergreifender Zugriff auf entsprechende Daten sind entscheidend für eine verstärkte Zusammenarbeit und für das Teilen der Ressourcen zwischen den Eisenbahn-Dienstleistern.

Handlungsempfehlungen

- Reform und Harmonisierung der dezentralen Betriebsregelwerke mit dem Ziel, ein allgemein verpflichtendes Regelwerk mit ggf. hoheitlichem Charakter zu schaffen.
- Standardisierung der Qualifikationsanforderungen an die bei der Leistungserstellung im Eisenbahnbetrieb beteiligten Personale und einfache multilaterale Anerkennung der Qualifikationen.
- Erforschung, Entwicklung bzw. Weiterentwicklung der notwendigen Datenstandards und von entsprechenden Datenräumen zur Ermöglichung der gegenseitigen Ressourcennutzung.

9. Automatisieren/Optimieren der Prozesse in örtlichen Anlagen und Zugangsstellen des Schienengüterverkehrs

In örtlichen Anlagen und Zugangsstellen auf der letzten Meile des SGV (Gleisanschlüsse, Ladestellen, Anschlussbahnen, Rangierbahnhöfe, Terminals) erfolgen Rangier- und Kupplungstätigkeiten sowie das Be- und Entladen und das Untersuchen von Güterwagen überwiegend noch manuell, was etwa ein Drittel der Gesamtkosten einer schienengebundenen Transportkette ausmacht. Eine weitreichende Digitalisierung und Automatisierung dieser Prozesse verspricht daher ein hohes Nutzenpotenzial. Wesentliche Innovationen sind dabei das automatisierte Fahren, die Automatisierung von Wagenuntersuchungen, das automatisierte Be- und Entladen von Güterwagen, der automatisierte Umschlag von Ladeeinheiten, die automatisierte Disposition und Optimierung der Ladestellenbedienungen sowie

(z. B. im Zusammenhang mit der DAK) Automatisierungen beim Kuppeln, bei der Zugintegritätsprüfung, Bremsprobe und Reihungserfassung.

Handlungsempfehlungen

- Herausarbeiten der zu schaffenden rechtlichen, betrieblichen und technischen Lösungen und Rahmenbedingungen für die durchgängige Digitalisierung/Automatisierung der Prozesse in den örtlichen Anlagen und Zugangsstellen des SGV.
- Entwicklung eines Rechtsrahmens für die Zulassung und den Betrieb automatisierter Prozesse in örtlichen Anlagen und Zugangsstellen.
- Erforschung, Erprobung, Umsetzung und Einführung der erforderlichen betrieblichen und technischen Komponenten und Lösungen für jede der herausgearbeiteten Innovationen.
- Aufbau und Betrieb eines „Digitalen Testfelds zur Automatisierung örtlicher Anlagen sowie von Zugangsstellen des SGV“, in dem die Innovationen erprobt, bewertet und weiterentwickelt werden.

10. Automatisierte Disposition und Planung der Transportdurchführung

Disposition und Planung der Transportdurchführung erfolgen im SGV aktuell aufgrund mangelnder durchgängiger Datenverfügbarkeit und adäquater komplexer Lösungsmodelle in der Regel fragmentiert für einzelne Teile und nicht durchgängig für die gesamte Transportkette. Eine höhere Effizienz und die Flexibilisierung des Ressourcen-Einsatzes sowie ein dynamisches

Reagieren auf Abweichungen vom Regelbetrieb erfordern jedoch eine Verknüpfung nicht nur an einem einzigen Ort, z. B. einem Terminal, sondern eine netzweite Betrachtung der Dispositionsaufgaben mit all ihren komplexen Abhängigkeiten.

Für eine automatisierte Planung und Disposition sind algorithmusbasierte Entscheidungs- und Optimierungsverfahren weiterzuentwickeln sowie eine hochleistungsfähige, automatisierte und KI-gestützte Planungs-/Steuerungsinstanz zu konzipieren und umzusetzen.

Handlungsempfehlungen

- Erforschung und Entwicklung geeigneter Modelle zur Abbildung der Komplexität sowie der Einflussgrößen, Abhängigkeiten und Akteure für eine automatisierte, die gesamte Transportkette umfassende, dynamische Planung und Disposition.
- Identifizierung der notwendigen Datenquellen, Datenqualitäten und -verfügbarkeiten und der dazu zu schaffenden Rahmenbedingungen und Kommunikationslösungen.
- Erforschung, Entwicklung/Weiterentwicklung und Erprobung algorithmusbasierter Entscheidungs- und Optimierungsverfahren sowie hochleistungsfähiger, automatisierter Planungs- und Steuerungsinstanzen.

11. Digitalisierung der Schnittstellen zu Transportkunden (Verladern)

Eine digitalisierte Bereitstellung von Verlade- und Sendungs-Daten und eine Echtzeit-Sendungsverfolgung sind wesentliche Elemente für

die Integration des SGV in die digitalen, oftmals europaweiten Lieferketten der Transportkunden. Mit digitalen Echtzeit-Informationen über für die Verladung relevante Leerwagen-Bestände, Zugabfahrten, Zugauslastungen, Trassenverfügbarkeiten und/oder Terminal-Slots wird eine kooperative Transportplanung möglich, bei der die Verlader künftig regelmäßig (teilautomatisiert) prüfen können, inwieweit kurzfristige Transportmöglichkeiten auf der Schiene genutzt werden können. Versand- oder Verladeprogramme der Transportkunden müssen dafür entsprechend flexibilisiert/optimiert werden. Damit kann ein wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Attraktivität, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Inanspruchnahme schienengebundener Transport-Alternativen geleistet werden.

Handlungsempfehlungen

- Erarbeitung einer Anforderungsanalyse sowie Umsetzung/Einführung weiterer Standardisierungen für die digitalisierte Beauftragung, Statusverfolgung und Abrechnung der Schienenverkehrs-Dienstleistungen zwischen Transportkunden und Eisenbahn-Dienstleistern.
- Analyse des Standes, Schaffung der technischen Voraussetzungen und Etablierung einer belastbaren Echtzeit-Prognose für Abfahrts- und Ankunftszeitpunkte der Sendungen über alle Stationen der Transportkette vom Versender bis zum Empfänger – unter Einbeziehung aller beteiligten Akteure und für alle Produktionsformen des SGV.
- Herausarbeiten der Nutzenpotenziale und der dazu erforderlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen sowie Erforschung und Entwicklung einer kooperativen Transportplanung für das Zusammenwirken von Transportkunden und Eisenbahn-Dienstleistern.

V. *Fazit und Ausblick*

Mit den in dieser Strategie vorgestellten zentralen Innovationen wollen wir den SGV in eine digitale Zukunft führen, in der er im Wettbewerb mit dem Straßengüterverkehr nicht nur bestehen, sondern seine systemimmanenten Vorteile voll ausspielen kann. Die Strategie zeigt, dass Automatisierung und Digitalisierung die nötigen Voraussetzungen für eine nachhaltige Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene schaffen können.

Dazu enthält diese Strategie eine klare Perspektive für die notwendige Beschleunigung der Digitalisierungs- und Automatisierungsmaßnahmen, insbesondere bei den herausgearbeiteten 11 Top-Innovationen. Sie bietet zudem Anhaltspunkte und Handlungsempfehlungen für die Ausgestaltung der erforderlichen gesetzlichen, technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen. Damit kann der SGV Grundlage eines modernen und umweltschonenden Güterverkehrs in Deutschland und Europa sein.

Es geht nun darum, die Innovationen in realistischen, zugleich auch ambitionierten Zeithorizonten umzusetzen und so dem Innovationsrückstand im SGV wirksam zu begegnen. Dabei ist zu beachten, dass die dargestellten Top-Innovationen einen unterschiedlichen Reifegrad und Umsetzungsstand aufweisen. Der Sektor steht dabei in der Verantwortung, Innovations-

maßnahmen mit eigenen Anstrengungen und Investitionen maßgeblich voranzutreiben. Die Realisierung einiger grundlegender Innovationen übersteigt jedoch die beschränkten wirtschaftlichen Möglichkeiten der im SGV tätigen Akteure. Daher gilt es gemeinsam zu prüfen und abzuwägen, in welchen Handlungsfeldern eine zielgerichtete und effiziente Unterstützung bei Forschung, (Weiter-) Entwicklung oder Umsetzung erforderlich und möglich ist, um die erwarteten Effekte zur Kostensenkung, Steigerung der Servicequalität und Wettbewerbsfähigkeit des SGV nachhaltig zu realisieren. Hierbei können auch die bereits etablierten Förderprogramme Z-SGV sowie der Modernitätsfonds mFUND zielgerichtet Unterstützung leisten. Im Bereich der Forschung spielt das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) eine zentrale Rolle, indem es zahlreiche Forschungsprojekte initiiert und unterstützt, die sich mit der Entwicklung und Erprobung neuer Technologien zur Automatisierung und Digitalisierung des SGV beschäftigen. Daran kann bei der weiteren Umsetzung der Strategie angeknüpft werden.

Politik, Branche und Wissenschaft sind nunmehr aufgerufen, die Handlungsempfehlungen zeitnah in konkrete Handlungsschritte zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit umzuwandeln. Dazu sollen noch in dieser Legislaturperiode entscheidende Weichenstellungen erfolgen.

VI. Abkürzungsverzeichnis

AG Umsetzung	Arbeitsgruppe Umsetzung Masterplan Schienengüterverkehr
ATO	Automatic Train Operation (automatisierter Zugbetrieb)
CTMS	Capacity & Traffic Management System (Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem)
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DSTW	Digitales Stellwerk
eCIM	elektronischer CIM-Frachtbrief (CIM - Internationales Übereinkommen über den Eisenbahnverkehr)
ECM	Entity in Charge of Maintenance
EDIGES	Electronic Data interchange for Intermodal Global European Standard (speziell für den Kombinierten Verkehr entwickeltes Datenübertragungsformat)
eFTI	Electronic Freight Transport Information (elektronische Frachtbeförderungsinformationen)
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ETA/ETP	Estimated Time of Arrival/Estimated Time of Pickup (erwartete Ankunfts-/Abholungszeit)
ETCS	European Train Control System (Europäisches Zugbeeinflussungssystem)
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
GoA	Grade of Automation (Automatisierungsgrad)
IoT	Internet of Things (Internet der Dinge)
KI	Künstliche Intelligenz
KV	Kombinierter Verkehr
SGV	Schienengüterverkehr
TAF-TSI	Technical Specification for Interoperability relating to Telematics Applications for Freight Services (Technische Spezifikation für die Interoperabilität zu Telematikanwendungen für den Güterverkehr)
UAG AutoDig	Unterarbeitsgruppe Automatisierung und Digitalisierung

VII. Anhänge

Anhang 1: Übersicht über die Arbeitspakete, Berichterstatter und Mitarbeitende

Arbeitspakete	Berichterstatter und Mitarbeitende	
AP 1 Innovative Fahrzeugtechnik	<i>Berichterstatter</i>	
	Stefan Hagenlocher	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr, hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH
	<i>Mitarbeitende</i>	
	Stefan Kratz	DB Cargo
	Sven-Oliver Müller	
	Eva Lohmeier	Deutsches Verkehrsforum, Knorr-Bremse AG
	Malte Lawrenz	Verband der Güterwagenhalter in Deutschland e. V.
AP 2 Infrastruktur- nutzung	<i>Berichterstatter</i>	
	Philipp Günther	DB InfraGO AG
	<i>Mitarbeitende</i>	
	Franziska Weller	DB InfraGO AG
	Sandra Schläfke	
	Danny Kreyenberg	
	Andy Grell	
	Lars Brune	
	Markus Reinhardt	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt
	Axel Simroth	
	Wolfgang Schüttler	CN-Consult GmbH
	Mathias Thomas	DB Cargo AG
	Sven-Oliver Müller	
	Stefan Hagenlocher	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr, hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH
	Jonas Ölke	Verband der Bahnindustrie in Deutschland e. V.
	André John	Verband deutscher Verkehrsunternehmen e. V.

Arbeitspakete	Berichterstatter und Mitarbeitende	
AP 3 Transportketten- Prozesse	<i>Berichterstatter</i>	
	Dr. Hans-Joachim Lucke	CL Rail GmbH
	<i>Mitarbeitende</i>	
	Wolfgang Schüttler	CN-Consult GmbH
	Sven-Oliver Müller	DB Cargo AG
	Manfred Stobrave	
	Achim Klukas	Fraunhofer IML
	Stefan Hagenlocher	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr, hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH
	André John	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.
	<i>Berichterstatter</i>	
AP 4 Daten	Achim Klukas	Fraunhofer IML
	<i>Mitarbeitende</i>	
	Vasco Paul Kolmorgen	Bahnkonzept GmbH Deutschland
	Wolfgang Schüttler	CN-Consult GmbH
	Sven-Oliver Müller	DB Cargo AG
	Holger Bartels	
	Kathrin Moder	Deutsches Verkehrsforum, Knorr-Bremse AG
	Dr. Constantin Scheuermann	
	Christoph Büchner	Kombiverkehr GmbH & Co. KG
	Dr. Ralf Elbert	Technische Universität Darmstadt
	Paul Bossong	

Anhang 2: Übersicht über die 36 herausgearbeiteten Innovationen

Innovation		Top-Innovation
1.	Digitale Automatische Kupplung	6
2.	Kollaboration und Teilen von Ressourcen zwischen Eisenbahn-Dienstleistern verstärken	8
3.	Vollautomatisiertes Fahren im Schienengüterverkehr	5
4.	Vollautomatisiertes Rangieren in örtlichen Anlagen des Schienengüterverkehrs	9
5.	Automatisierte Zugbildungsanlagen und Terminals	
6.	Automatisierte wagentechnische Untersuchung	
7.	Automatisierte Be- und Entladetechnik für Güter in und aus Wagen und Containern	
8.	Schaffung der Voraussetzungen für nahtlosen grenzüberschreitenden Schienengüterverkehr (u. a. ETCS Harmonisierung Technik und technisches und betriebliches Regelwerk)	1
9.	Schaffung der Voraussetzungen für die betriebliche Abwicklung eines nahtlosen grenzüberschreitenden Schienengüterverkehrs (Planung, Disposition und Trassenvergabe)	
10.	Automatisierte Disposition und Planung	10
11.	Integrierte Leit- und Sicherungstechnik	2
12.	Digitalisiertes, echtzeitbasiertes Störungsmanagement	3
13.	Automatisierte, spezifisch optimierte, netzbezirkübergreifende, echtzeitbasierte Disposition	
14.	Kooperative, digitale Transportplanung von Verloader zu Eisenbahnverkehrsunternehmen (Wagen, Terminal, Eisenbahnverkehrsunternehmen)	11
15.	Digitalisierung der Transportdokumente und der digitalen Transportakte	
16.	Digitale Instandhaltung der Infrastruktur (risiko- statt ausfallbasiert)	4
17.	Innovative Güterwagen-Bremse	7
18.	Optimierung zustandsbasierter Instandhaltung für Güterwagen und Triebfahrzeuge	
19.	Auftragsscharfe Echtzeit-Sendungsverfolgung durch Telematik und Sensorik inkl. automatisierter ETA-/ETP-Prognose	
20.	Digitale Transport- und Sendungsbeauftragung und -abwicklung zwischen Verladern und Eisenbahndienstleistern/Eisenbahnverkehrsunternehmen	
21.	Flexible, digitale Trassenbe-/abbestellung, -vergabe, Trassenkonstruktion, und -management	
22.	Innovative Behälterkonzepte	
23.	Telematik und Sensorik zur Unterstützung der automatisierten Zugfahrt (z. B. Heißläufererkennung o. ä.)	

Innovation		Top-Innovation
24.	Wayside-Technologien entlang der Infrastruktur zur digitalen Zustandserkennung für Fahrzeuge des Schienengüterverkehrs	
25.	Robotik und Drohnen für den Einsatz im Eisenbahnbetrieb und zur Instandhaltung der Infrastruktur	
26.	Mehrfachtraktion und verteilte Traktion	
27.	Entwicklung von Services zur Optimierung der Logistik (z. B. Digital Twins, KI-Services)	
28.	Digitale Stellwerkstechnik und Integrierte Leit- und Sicherungstechnik Level 2 ohne Signale	
29.	Fahrassistenzsysteme zur Optimierung des Energieeinsatzes	
30.	Entwicklung von Internet-of-Things-Lösungen zur Datengenerierung (Wagen, Lokomotiven, Infrastruktur)	
31.	Pilotierung des automatisierten Fahrbetriebs Grade of Automation 2 im Schienengüterverkehr	
32.	Konventionelle Stellwerkstechnik und Integrierte Leit- und Sicherungstechnik Level 2 mit Signalen	
33.	In Echtzeit optimiertes Energie-/Bahnstrom-Management (u. a. Spitzenlaststeuerung und Erhöhung der Rückspeisung)	
34.	Digitaler Triebfahrzeug- und Wagen-Pass (Stamm- und aktuelle Daten von Triebfahrzeug, Wagen und Ladung)	
35.	Automatisierte Planung (Ressourcen, Transportketten, Ladestellenbedienung, Rangieraufträge, Terminalslots)	
36.	Güterzüge mit höheren Geschwindigkeiten (um 160 – 180 km/h) für Marktsegmente mit höheren Zeitanforderungen	

Anhang 3: Die 11 Top-Innovationen im Detail

1. Nahtloser grenzüberschreitender Schienengüterverkehr

Aktuell findet mehr als die Hälfte der Verkehre im SGV grenzüberschreitend statt. Im Vergleich zum Straßengüterverkehr behindern gegenwärtig noch zahlreiche nationale rechtliche, betriebliche und technische Regelwerke einen reibungslosen grenzüberschreitenden SGV und stellen wettbewerbsverzerrende Hürden für den SGV dar. Dies betrifft sowohl unterschiedliche Netznutzungsbedingungen, Sicherheitsbescheinigungen, Zugvorbereitungsregelungen (Zugbildungsvorschriften, Bremszettel, Wagenliste) als auch nationale Bedeutungen von Stammdaten (Zugnummern, Betriebsstellen).

Die Harmonisierung der Regelwerke und Daten sowie eine konsequente Nutzung bestehender internationaler Standards wie TAF TSI (Telematics Applications for Freight Services – Technical Specification for Interoperability (Telematische Anwendungen für den Güterverkehr – Technische Spezifikation für Interoperabilität)) für den Datenaustausch sind wesentliche Voraussetzungen für eine durchgängige Digitalisierung grenzüberschreitender Güterverkehre auf der Schiene. Grenzüberschreitender Datenaustausch, Trassenvergabe, Disposition, Störungsmanagement und Zuglaufprognosen sind dabei wesentliche Hebel für einen reibungslosen, wettbewerbsfähigen internationalen Güterverkehr. Dazu müssen die nationalen, teilweise unternehmensspezifischen IT-Systeme aller am grenzüberschreitenden SGV beteiligten Akteure befähigt werden, Daten und Funktionalitäten für ein gemeinsames, grenzüberschreitendes Kapazitäts- und Verkehrs-

management bereitzustellen. Bei den beteiligten Eisenbahn-Akteuren muss ein einheitliches Verständnis für eine offene, transparente, aber auch sichere und vertrauliche gemeinsame Datennutzung etabliert werden.

Mit der europaweiten Einführung des Zugbeeinflussungssystems European Train Control System (ETCS) wird perspektivisch der freizügige, grenzüberschreitende Einsatz von Triebfahrzeugen und Personal erleichtert. Da jedes Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) jedoch eigene ETCS-Konfigurationen des Systems nutzt, müssen diese an ihren infrastrukturseitigen technischen und betrieblichen Schnittstellen aufeinander abgestimmt werden. Die streckenseitige Zugbeeinflussung muss deshalb an jeder Landesgrenze individuell betrachtet und so geplant werden, dass Sicherheit, Interoperabilität und Leistungsfähigkeit gewährleistet sind. Hinzu kommen weitere technische Harmonisierungserfordernisse wie die Harmonisierung der fahrzeugseitigen Stromabnehmergestaltung, um verschiedene Fahrdrabt-Weiten und Oberleitungsspannungen nutzen zu können, und eine durchgängige Elektrifizierung der Grenzbetriebsstrecken.

In den kommenden Jahren sollen 20 der 50 zwischen Deutschland und seinen Nachbarländern bestehenden Grenzbetriebsstrecken mit ETCS ertüchtigt werden. Aktuell sind in Deutschland lediglich die Strecken zwischen Deutschland und der Schweiz in Betrieb, so dass in den nächsten Jahren noch ein erheblicher Nachholbedarf besteht.

2. *Integrierte Leit- und Sicherungstechnik*

Die für eine weitere Güterverlagerung auf die Schiene notwendige Kapazitätserhöhung kann im dichtbesiedelten EU-Raum nicht allein durch Neu- und Ausbau erfolgen. Gerade in gemischten Eisenbahnsystemen, in denen sich Güter- und Personenverkehr eine Strecke teilen, ist eine optimale, flexiblere Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ein zentraler Hebel.

Die Verfügbarkeit leistungsfähiger digitaler Technologien und die Fähigkeiten zur Übertragung großer Datenmengen in Echtzeit ermöglichen einen Paradigmenwechsel von einer festen, „blockzentrischen“ zu einer flexiblen, „zugorientierten“ Zugfolge- und Sicherungslogik. Eine integrierte Leit- und Sicherungstechnik mit zugorientierter Sicherungslogik erlaubt, dass Züge in individuellen, von den Fahrzeugeigenschaften (Geschwindigkeit, Masse, Bremsvermögen etc.) abhängigen Abständen im sogenannten „Moving Block“ fahren. Gleichzeitig können die technischen Systemelemente im Gleis, insbesondere ortsfeste Signale, Balisen (europaweit standardisierte Datenpunkte) und Achszähler, auf ein Minimum reduziert werden. Das bedeutet weniger Störungen und Wartungsaufwände, eine erhöhte Zuverlässigkeit und niedrigere infrastrukturseitige Kosten bei gleichzeitig signifikant erhöhter Streckenkapazität. In Verbindung mit einer ATO-Komponente (Automatic Train Operation) können sich weitere Vorteile ergeben, wie beispielsweise eine Steigerung der Durchschnittsgeschwindigkeit und eine erhöhte Energieeffizienz.

Aufgrund der Größe des deutschen Schienennetzes kann diese neue Technologie nur schrittweise eingeführt werden. Um die Wettbewerbsfähigkeit

des SGV sicherzustellen, wird eine Ausrüstung der relevanten Güterkorridore in Deutschland bis 2040 angestrebt.

3. *Echtzeitbasiertes Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem*

Auf einem hochausgelasteten Streckennetz kommen der Kapazitätsplanung und Verkehrssteuerung sowohl zur Durchsetzung der Pünktlichkeit als auch für eine schnellstmögliche Rückkehr in den Regelbetrieb nach aufgetretenen Störungen eine hohe Bedeutung zu. Dabei besteht die Anforderung, Auswirkungen von Dispositionsentscheidungen nicht nur lokal, sondern deutschlandweit zu antizipieren und zu berücksichtigen. Die heute größtenteils noch manuellen Planungs- und Dispositionsprozesse sind nicht in der Lage, diese Komplexität zu beherrschen.

Ein intelligentes, algorithmen- bzw. KI-basiertes Kapazitäts- und Verkehrsmanagementsystem (CTMS – Capacity & Traffic Management System) ist künftig das Herzstück der Planung und Steuerung der Infrastrukturnutzung. Mit einem CTMS wird der Eisenbahnbetrieb unter Berücksichtigung der Kapazitätsbedarfe (Zugfahrten, Baustellen, Störungen etc.) durchgängig in einem System automatisiert geplant, überwacht und gesteuert. Fahrpläne, Zugfolgen und Trassen werden automatisiert erstellt bzw. konstruiert und bei Bedarf echtzeitnah auf Basis aktueller Zug- und Streckendaten modifiziert. Sowohl Fahrzeuge als auch Infrastruktur erhalten von CTMS automatisiert die für die Umsetzung der Dispositionsentscheidungen erforderlichen digitalen Informationen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil von CTMS ist die netzweite Betrachtung der Streckenbelegungen während der (Echtzeit-) Optimierung, d. h. über Regionalbereichsgren-

zen hinaus. Damit wird zum einen die Kapazität und zum anderen die Zuverlässigkeit des Systems Eisenbahn spürbar erhöht: Die Gesamtnetz-betrachtung ermöglicht erstmalig eine vorausschauende Disposition über ganze Zugläufe hinweg. (Potenzielle) Störungen können antizipiert und schneller behoben und die Auswirkungen der Störungen auf die einzelnen Zugfahrten damit minimiert werden.

Der volle Nutzen des CTMS wird erreicht, wenn die auf der Infrastruktur eingesetzten Triebfahrzeuge mit einem ATO-Bordgerät ausgestattet sind (ab GoA2, Grade of Automation). CTMS kann solche Fahrzeuge mit den aus Fahrplänen erstellten Fahrprofilen automatisiert versorgen und damit die präzise Durchführung der optimierten Zugfahrten ermöglichen. Umgekehrt erhält CTMS von entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen umfangreiche Zustands- und Diagnoseinformationen, die zu weiter verbesserten Dispositionslösungen führen werden.

4. *Einführung digitale Instandhaltung der Infrastruktur*

Neben dem Neubau von Infrastrukturen kann auch ein optimierter Betrieb zusätzliche Kapazitäten schaffen. Aktuelle Zahlen zu Zugausfällen, Verspätungen und Streckensperrungen zeigen deutlich, welche Herausforderungen dabei für die Infrastruktur bestehen. Der Infrastruktur-Instandhaltung kommt eine Schlüsselrolle zu, wenn trotz steigender Zugzahlen ein reibungsloser Eisenbahnbetrieb, stabile und kostengünstige Lieferketten sowie die Sicherheit von Fahrgästen und Personal gewährleistet sein soll.

Der aktuell etablierte Ansatz einer vorbeugenden Instandhaltung in festgelegten Zeitintervallen

kommt an seine Grenzen und muss um eine auf Daten basierte digitale Instandhaltung ergänzt werden. Dabei geht es vor allem darum, die Eingriffszeitpunkte zustands- und nutzungsbasiert festzulegen. Der vorbeugende Ansatz bei der Instandhaltung führt auch dazu, dass intakte Komponenten früher als notwendig ausgetauscht werden.

Die digitale Instandhaltung zahlt sich dann an zwei Stellen aus: Steigerung der Qualität und Erhöhung der Effizienz. Durch die Erfassung und Analyse von Daten können die Instandhaltungsarbeiten zustandsbasiert und vorausschauend geplant werden, wodurch ungeplante Störungen reduziert werden können. Durch eine permanente Zustandserfassung der Anlagen („Digitales Schienennetz“) und der Prognose der Zustandsentwicklung kann reagiert werden, bevor es zu Betriebsstörungen kommt. Anhand von Zustandsdaten können Muster und Trends identifiziert werden, die auf potenzielle Schwachstellen hinweisen. Weniger Störungen führen zu weniger Verzögerungen innerhalb des Eisenbahnbetriebs und damit zu einer höheren Betriebssicherheit und Verfügbarkeit. Gleichzeitig führen weniger unvorhergesehene Störungen zu einer Reduzierung der Kosten.

Für die Umsetzung dieser Ansätze braucht es innovative Technologien von der Datenerfassung über die Datenhaltung bis hin zu intelligenten Systemen, die in der Lage sind, aus den Daten die notwendigen Informationen zu gewinnen. Je besser und strukturierter die Datenbasis, desto präziser sind die Analysen und das Lebenszyklusmanagement, welches eine der Kernaufgaben der vorausschauenden digitalen Instandhaltung darstellt.

5. *Vollautomatisiertes Fahren von Zügen im Schienengüterverkehr*

In einem Eisenbahnsystem, das infrastruktur- und fahrzeugseitig mit ATO GoA4-Technologie ausgestattet ist, erfolgt eine Zugfahrt im Regelbetrieb ohne Betriebspersonal an Bord des Triebfahrzeugs. Züge beschleunigen, bremsen und halten selbstständig auf Basis von digital betrieblich optimierten Fahrplaninformationen. Sensorbasierte Wahrnehmungssysteme im Zug und an der Strecke erkennen den Betriebszustand von Wagen und Lokomotive sowie das relevante Umfeld (den „Fahrweg“ vor der Lokomotive) und reagieren auf potenzielle Gefahren. Die Einführung von ATO GoA4 im SGV schafft wesentliche Grundlagen für Kapazitäts- und Qualitätssteigerungen, für eine verbesserte Pünktlichkeit und eine spürbare Erhöhung der Resilienz des Systems u. a. durch den Entfall von Personalwechseln bei langlaufenden Verkehren.

Ein vollautomatisierter SGV erfordert den Aufbau einer wirksamen Funktionskette aus Umfelderkennung, Lokalisierung, Störungsprävention (inkl. Sensorik zur Zustandserkennung der Fahrzeuge) und Automatisierung der Fahrfunktionen. Diese Funktionskette muss außerdem den Anforderungen eines offenen Schienennetzes (ohne Umzäunung o. ä.) entsprechen und länderübergreifend und herstellerunabhängig umgesetzt werden. Um auftretende Betriebsstörungen schnell und effektiv analysieren und beheben zu können, ist zudem die Möglichkeit der Fernüberwachung und Fernsteuerung des vollautomatisierten Zugs durch entsprechend ausgebildete Triebfahrzeugführende vorzusehen.

In einem ersten Schritt empfiehlt es sich, zunächst das hochautomatisierte Fahren der Stufe 2 (ATO GoA2, Personal weiterhin auf der

Lokomotive) im SGV zu erproben und später auf ATO GoA4 (weder Triebfahrzeugführer noch Zugbegleiter an Bord) hochzurüsten. Des Weiteren stellen auch die Aktivitäten zur Vorbereitung und Umsetzung einer vollautomatisierten Rangierfahrt eine wichtige Vorstufe dar, da die technischen Hürden hier deutlich niedriger als für eine vollautomatisierte Zugfahrt eines lokbespannten, grenzüberschreitend verkehrenden Güterzugs sind.

6. *Digitale Automatische Kupplung*

Die Digitale Automatische Kupplung (DAK) ist ein Schlüsselfaktor für die umfassende Digitalisierung und Automatisierung des SGV in Europa. Die seit dem Jahr 2022 in einem europäischen Konsortium innerhalb des Europe's Rail Joint Undertaking (Europe's-Rail, eine öffentlich-private Partnerschaft zwischen der Europäischen Union und dem europäischen Eisenbahnsektor) neu entwickelte DAK mit elektrischem Energie- und Kommunikationssystem verbindet und trennt automatisiert Güterwagen und deren Luftleitungen für die Bremse sowie Strom- und Datenleitungen. Die Verfügbarkeit von elektrischer Energie und einer Datenkommunikation auf Güterzügen bringt erhebliche Potenziale in allen betrieblichen Situationen des SGV mit sich – vom Rangieren über die Zugvorbereitung und die eigentliche Fahrt hinweg bis in die Instandhaltung hinein: Die DAK ist somit keine eigenständige Technologie, sondern „Enabler“ für einen volldigitalen und zunehmend automatisierten Güterzugbetrieb, der heute noch von aufwändigen manuellen Prozessen geprägt ist. Im Herbst 2023 wurde auf EU-Ebene durch das European DAC Delivery Program (EDDP) – einer von Europe's Rail unterstützten Initiative mit dem Ziel der erfolgreichen Implementierung der DAK im europäischen SGV – definiert, dass bei

einer Migration neben der DAK mitsamt elektrischem Energie- und Kommunikationssystem auch folgende Funktionalitäten als DAK Basis-Paket berücksichtigt werden sollen: automatische Erfassung der Wagenreihung und -ausrichtung, automatische Bremsprobe, automatische Zuglängenerkennung und Zugvollständigkeitsüberprüfung, automatisches Entkuppeln von der Lokomotive aus.

Das BMDV unterstützt die Entwicklung, Erprobung und Einführung der DAK, u.a. über die Beauftragung einer Studie für ein DAK-Migrationskonzept in Europa in 2019 (<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-laerm-umwelt-klimaschutz/studie-digitales-automatisches-kupplungssystem-dak.html>) sowie über die Finanzierung des DAK-Demonstrators “DAC4EU” als Auftragsforschungsprojekt (siehe <https://www.dac4.eu>). Aktuell untersucht das BMDV Möglichkeiten, die EU-weite Einführung einer DAK vorbereitend mit einem nationalen DAK-Förderkonzept (Studie über die nationalen Möglichkeiten zur finanziellen Förderung der Digitalen Automatischen Kupplung) zu unterstützen.

Da die Einführung der DAK finanziell nicht durch den Sektor alleine bewältigt werden kann, und neben dem betriebswirtschaftlichen Nutzen auch erhebliche volkswirtschaftliche Effekte zu erwarten sind, ist eine Förderung durch die öffentliche Hand für DAK-Pilotzüge sowie für die DAK-Migration sowohl auf nationaler Ebene als auch auf EU-Ebene erforderlich.

7. Innovative Güterwagen-Bremse

Für das Bremsen von Güterzügen kommen seit über 100 Jahren Luftdruckbremsen zum Einsatz, die Druckluft als Energieträger sowie zur Steuerung

des Bremsvorgangs verwenden. Die eigentliche Bremswirkung wird durch das Anpressen von Bremsklötzen entweder auf die Laufflächen der Räder oder – in Ausnahmefällen – auf Bremscheiben ausgeübt. Für den angestrebten qualitativen Sprung im SGV ergeben sich durch den Einsatz von Druckluftbremsen jedoch entscheidende technische Limitierungen:

- **Zuglänge:** Wegen der langsamen Übertragung des Bremsbefehls mittels Druckluft ist die Güterzuglänge auf 1.000 Meter begrenzt. Perspektivisch sind auf Haupt-Güterkorridoren im Zusammenspiel mit ETCS „Moving Block“ für Nachtsprungverbindungen deutlich längere Züge bis 1.500 Meter zur Kapazitätssteigerung denkbar.
- **Geschwindigkeit:** Die langsame Reaktionsgeschwindigkeit der reinen Druckluftbremse begrenzt die maximale Geschwindigkeit von Güterzügen auf 120 km/h.
- **Wartungs-/Instandhaltungskosten:** In heutigen Güterwagen-Bremsanlagen sind keine Diagnose- oder Monitoring-Sensoren enthalten. Eine kostenmindernde vorausschauende Wartung der Bremsanlagen sowie eine lückenlose Zustandserfassung ist nicht möglich.

Die Weiterentwicklung hin zu einer modernen Bremse besteht in der vollständigen Digitalisierung der Ansteuerung der einzelnen Bauteile. Die erste Evolutionsstufe existiert bereits: Bei der elektro-pneumatischen Bremse („EP-Bremse“) wird der Bremsbefehl elektrisch aus der Lokomotive an alle Fahrzeuge im Zugverband übermittelt. Aufgrund der extrem schnellen Übertragungszeit bremsen alle Fahrzeuge im Zug gleichzeitig. Dies hebt die oben aufgeführten

Limitierungen für Zuglänge und Geschwindigkeit auf. EP-Bremsen kommen heute in verschiedenen Ausführungen bereits in Personenzügen zum Einsatz. In Güterzügen war bisher keine elektrische Stromversorgung oder zuginterne Datenkommunikation verfügbar. Mit der Einführung der DAK wird sich dies ändern, so dass künftig auch in Güterzügen die Bremsen elektronisch angesteuert werden können. Diese volldigitalisierte Güterwagenbremse ist in Kombination z. B. mit dem autonomen Fahren und der letzten Ausbaustufe von ETCS ein integraler Bestandteil des künftigen leistungsfähigen SGV in Deutschland. Für Wagenhalter und EVU ergeben sich reduzierte Wartungskosten, eine spürbar effizientere Auslastung vorhandener Ressourcen und die Möglichkeit, hochgradig wettbewerbsfähige Verkehre anzubieten. Die Infrastruktur profitiert über den Kapazitätseffekt, indem mehr Güter je Zug transportiert werden, das Verkehrsmengenwachstum also nicht in jedem Fall über mehr Züge, sondern zumindest teilweise über längere Züge realisiert werden kann.

8. Schaffung der Voraussetzungen für eine verstärkte Kollaboration/Teilen von Ressourcen zwischen den Eisenbahn-Dienstleistern

Die Kooperation der am Eisenbahn-Markt tätigen Unternehmen und die effiziente Nutzung der Ressourcen Personale (Triebfahrzeugführer, Wagenmeister), Rollmaterial (Lokomotiven, Wagen) und Züge (Trassen, Zugauslastung) im SGV senkt Kosten, verbessert die Zuverlässigkeit und mindert den Fachkräftemangel.

Die Planung und der Einsatz dieser Ressourcen erfolgen in den Eisenbahn-Verkehrsunterneh-

men (EVU) derzeit in der Regel unternehmensintern. Das führt zu zahlreichen Ineffizienzen, z. B. durch einen hohen Anteil an Gastfahrten und Leerlaufzeiten des Personals oder zu unnötigen Standzeiten des Rollmaterials, da das jeweilige EVU keine passende Leistung hat.

Die unternehmensbezogene Sicht und die fehlende unternehmensübergreifende Transparenz verfügbarer Ressourcen verhindern aktuell das Heben entsprechender Effizienzpotenziale, von Einzelbeispielen bilateraler Unternehmenskooperation abgesehen.

Hinzu kommt, dass die bestehenden hohen Auflagen zur Zulassung von Fahrzeugen und Personal im Rahmen der verpflichtenden Sicherheits-Management-Systeme der EVU eine hohe Hürde darstellen, um planerisch und operativ Ressourcen flexibel und unternehmensübergreifend einzusetzen. Darüber hinaus wurde auf der Ebene der Fahrzeugflotten mit Einführung des ECM-Systems („Entity in Charge of Maintenance“ – in der EU durch Verordnung (EU) 2019/779 seit 2022 verbindlich eingeführte Systeme, die für standardisierte und transparente Wartungsprozesse sorgen und somit die Sicherheit im SGV erhöhen) eine Komplexität geschaffen, die es zusätzlich erschwert, einfach und flexibel Rollmaterial gegenseitig zu tauschen oder zu verleihen.

Digitalisierung und Standardisierung der für das Teilen von Ressourcen erforderlichen Informationen und die Gewährleistung einer unternehmensübergreifenden Transparenz und Verfügbarkeit der entsprechenden Daten, bieten entscheidende Voraussetzungen für eine verstärkte Zusammenarbeit.

9. *Automatisieren/Optimieren der Prozesse in örtlichen Anlagen und Zugangsstellen des Schienengüterverkehrs*

Örtliche Anlagen wie Gleisanschlüsse, Ladestellen, Anschlussbahnen, Rangierbahnhöfe und Terminals sind die Zugangsstellen und Umsteigeknoten im Netz des SGV. Sie ermöglichen das Abholen und Zustellen von Güterwagen und Containern an den Ladestellen der Transportkunden auf der „letzten Meile“ sowie die Zugbildung und die Organisation multimodaler Verkehre. Mit über 30 Zugbildungsanlagen (Rangierbahnhöfe mit Ablaufberg), über 2.300 Gleisanschlüssen/Anschlussbahnen sowie etwa 200 Terminals für den Kombinierten Verkehr bietet sich damit in Deutschland ein großes Anwendungsfeld für entsprechende Automatisierungstechnologien.

Die aktuell noch überwiegend manuellen Rangier- und Kupplungstätigkeiten sowie das Be- und Entladen und das technische Untersuchen von Güterwagen in den Kapillaren und Knoten des SGV sind sehr arbeits- und zeitaufwändig und machen etwa ein Drittel der Gesamtkosten eines schienengebundenen Transportes aus. Eine weitreichende Digitalisierung und Automatisierung verspricht ein hohes Nutzenpotenzial, steht jedoch bisher noch nicht im Fokus von Forschung, Entwicklung und Umsetzung von Innovationen im SGV.

Wesentliche, in diesem Zusammenhang weiter zu erforschende, zu entwickelnde, zu erprobende und einzuführende Innovationen sind

- das automatisierte Fahren in den örtlichen Anlagen,
- die Automatisierung der Schadenserkennung und wagentechnischen Untersuchung,

- die automatisierte Vorbereitung und Durchführung der Be- und Entladung von Güterwagen sowie einer ggf. notwendigen Verwiegung,
- der automatisierte Umschlag von Ladeeinheiten,
- die automatisierte Disposition und Optimierung der Ladestellenbedienungen und der Betriebsabläufe in den örtlichen Anlagen,
- die flächendeckende Verfügbarkeit von schnellem Internet an Zugangsstellen sowie
- die im Zusammenhang mit der geplanten Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung im „EDDP DAK Basis Paket“ vorgesehenen Automatisierungen beim Kuppeln, bei der Zugintegritätsprüfung, Bremsprobe und Reihungserfassung.

Die Umsetzung und Einführung diesbezüglicher, durchgängig digitalisierter und automatisierter Prozesse in den Zugangsstellen, in den Zugbildungsbahnhöfen und in den Terminals prägen wesentlich das Zielbild und die Schritte zu einem modernen SGV. Auf dem Weg dahin ist der Aufbau eines spezifischen „Digitalen Testfelds zur Automatisierung örtlicher Anlagen sowie von Zugangsstellen des SGV“ ein wichtiger Baustein für das Erproben, Bewerten und Entwickeln/Weiterentwickeln der Innovationen. In diesem Testfeld soll der Gegenstand der bestehenden Testfelder zum automatisierten Fahren auf der Strecke (Annaberg-Buchholz) und zum automatisierten Abdruckbetrieb (München-Nord) maßgeblich erweitert werden. Diese Erweiterungen beziehen sich auf die oben angeführten, umfangreichen weiteren Innovationen und auf den wichtigen Anwendungsbereich der Zugangsstellen.

10. *Automatisierte Disposition und Planung der Transportdurchführung*

Die Disposition hat die Aufgabe, die vorliegenden Transportaufträge den verfügbaren Ressourcen (z. B. Züge, Güterwagen, Personal, Trassen, Terminals) zuzuordnen. Sie setzt die zeitlich vorgelagerten Planungsprozesse in eine operative, aktuelle Einsatzplanung um.

Dabei geht es insbesondere auch darum, durch eine dynamische Disposition (Dynamic Dispatching) in Echtzeit auf Veränderungen zu reagieren. Die technische Herausforderung für die Disposition und Planung im SGV – und gleichzeitig das größte Potenzial – liegt in der Verknüpfung sämtlicher Einflussgrößen und zu planender/zur disponierender Ressourcen nicht nur an einem einzigen (geographischen) Ort, z. B. einem Rangierbahnhof, sondern in der gesamten, netzweiten Betrachtung der Dispositionsaufgaben mit all ihren komplexen Abhängigkeiten.

Die Vielzahl zusammenwirkender Ressourcen des SGV bringt es mit sich, dass entsprechende Dispositionen und Planungen in der Regel zwischen zahlreichen beteiligten Akteuren in der Transportkette und bezüglich ihrer Auswirkungen auch mit den Transportkunden abzustimmen sind.

Die Disposition und Planung im SGV erfolgt aktuell aufgrund mangelnder durchgängiger Datenverfügbarkeit und adäquater komplexer Lösungsmodelle in der Regel fragmentiert für einzelne Teile und nicht durchgängig für die gesamte Transportkette.

Durchgängig digitalisierte und automatisierte, über die gesamte Leistungskette integrierte, und alle relevanten Einflüsse berücksichtigende Dis-

positions- und Planungsprozesse werden eine höhere Ressourcennutzung und -verfügbarkeit, die Flexibilisierung des Ressourcen-Einsatzes sowie ein schnelleres und besseres Reagieren auf Abweichungen vom Regelbetrieb ermöglichen. Daraus resultiert eine spürbare Optimierung der Produktivität und Effizienz des Gesamtsystems Schiene mit entsprechender Wirkung auf die Wirtschaftlichkeit der in der Transportkette beteiligten Akteure.

Dazu ist es notwendig, algorithmusbasierte Entscheidungs- und Optimierungsverfahren weiterzuentwickeln und eine hochleistungsfähige, automatisierte und KI-gestützte Planungs-/ Steuerungsinstanz zu konzipieren und umzusetzen. Die Verfügbarkeit von aktuellen, verlässlichen Informationen über alle relevanten Zustände und Inputgrößen für die Disposition und Planung muss gewährleistet werden. Dies betrifft sowohl aktuelle Daten über den Ressourcen-Status als auch verlässliche Prognosen der Ressourcen-Verfügbarkeiten und der Umgebungsbedingungen (z. B. Wetter, saisonale Einwirkungen).

11. *Digitalisierung der Schnittstellen zu Transportkunden (Verladern)*

Wesentliche Anforderungen für den Zugang der Transportkunden (Verlader bzw. Speditionen) zum SGV und für die Integration des SGV in die digitalen, oftmals europaweiten Lieferketten der Endkunden sind die Digitalisierung von Planung, Beauftragung und Abrechnung von Schienenverkehrs-Dienstleistungen über die gesamte intermodale Logistikkette (inkl. der entsprechenden Vor- und Nachläufe auf der Straße) sowie eine auftragsscharfe Echtzeit-Sendungsverfolgung. Durch eine rechtzeitige, digitalisierte Bereitstellung von Daten zum Sendungsaufkommen und zu den Leerwagenbedarfen leisten die Trans-

portkunden einen wesentlichen Beitrag zu einer stabilen Netzwerkplanung, zu einer bedarfsge- rechten Angebotserstellung und zur Sicherstel- lung von Resilienz, Qualität und Performance der schienengebundenen Lieferkette.

Bei der Transportdurchführung muss die Digi- talisierung die Voraussetzung dafür schaffen, dass die daran unmittelbar beteiligten Akteure (EVU, EIU, Terminalbetreiber, Spediteure) ent- sprechende Informationen entlang der gesamten Kette in Echtzeit austauschen und für die Trans- portkunden verfügbar machen. Aus diesen Infor- mationen muss eine verlässliche Auskunft über den aktuellen Status und über die voraussicht- liche Ankunftszeit der Sendung an den betriebs- relevanten Punkten (z. B. Terminals) und letzt- endlich beim Empfänger (ETA – Estimated time of Arrival bzw. ETP – Estimated time of Pick-up) resultieren. Neben den EVU spielen dafür auch die Infrastrukturbetreiber (EIU, Terminalbetrei- ber) als Datenlieferanten eine wesentliche Rolle.

Wesentliche Effektivitätspotenziale sind von einer künftig kooperativen Transportplanung im Zusammenspiel von Transportkunden und Eisenbahn-Dienstleistern zu erwarten. Aktuell geben Versand-/Verladeprogramme der Trans- portkunden die Versand-/Verladetermine verbindlich vor. Mit Hilfe digitaler Informationen über für die Verladung relevante Leerwagen- Bestände, Zugabfahrten, Zugauslastungen, Tras- senverfügbarkeiten und/oder Terminal-Slots im Umfeld der Verladeorte soll diese Einbahnstraße in eine bilaterale, kooperative Planung überführt werden, bei der die Verlader künftig regelmäßig (teilautomatisiert) prüfen können, inwieweit kurzfristige Transportmöglichkeiten auf der Schiene genutzt werden können. Versand- oder Verladeprogramme der Transportkunden müs- sen dafür entsprechend flexibilisiert/optimiert werden. Damit kann ein wesentlicher Beitrag zur Steigerung der Attraktivität, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit schienengebundener Trans- port-Alternativen geleistet werden.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Digitales und Verkehr,
Invalidenstraße 44, 10115 Berlin

Stand

November 2024

Gestaltung | Druck

Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Druckvorstufe | Hausdruckerei

Bildnachweis

Seite 1: © BMDV

Seite 4: © Oliver Lang, DB AG

Seite 11: © Fraunhofer IML

Diese Publikation wird von der Bundesregierung im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben.
Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.



www.bmdv.bund.de

-  facebook.com/bmdv
-  x.com/bmdv
-  youtube.com/bmdv
-  instagram.com/bmdv
-  linkedin.com/company/bmdv-bund
-  social.bund.de@bmdv