

Potenziale einer Multikuppelbarkeit im Schienenpersonennahverkehr

Eine Multikuppelbarkeit im Schienenpersonennahverkehr kann dazu beitragen, den Bahnverkehr flexibler zu gestalten und die Streckenkapazität zu steigern.



Detailausschnitt der gekuppelten SchaKu Typ 10

Quelle: M. Brey

**MICHAEL MÖNSTERS |
JAKOB GEISCHBERGER | PHILIP RITZER |
NORMAN WEIK | CHRISTIAN MEIRICH |
SEBASTIAN SKORSETZ | MARTIN KACHE |
ZAKI KEBDANI**

Ein Großteil der Triebzüge im deutschen Schienenpersonennahverkehr (SPNV) besitzt die Scharfenbergkupplung Typ 10, die meist mechanisches und pneumatisches Kuppeln ermöglicht. Elektrokupplungen und Leittechnik sind aufgrund fehlender Normung größtenteils inkompatibel, sodass ein gekuppelter Betrieb unterschiedlicher Fahrzeugbaureihen nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. Eine uneingeschränkte Kuppelbarkeit der Triebzüge könnte große Potenziale bezüglich der Effizienz im täglichen Betrieb erschließen. Für ein Projekt des

deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) wurde untersucht, welche technischen Maßnahmen für eine Multikuppelbarkeit (MKB) umgesetzt werden müssen, wie regulatorische Anpassungen gestaltet werden könnten und welche betrieblichen Auswirkungen hierdurch zu erwarten sind.

Problemstellung

Der aktuelle Ausrüstungsgrad der deutschen SPNV-Flotte lässt eine Kuppelbarkeit von Triebzügen in der Regel innerhalb derselben Baureihe und mit demselben Softwarestand zu. Aufgrund der stark eingeschränkten Kuppelbarkeit unterschiedlicher Baureihen und Fahrzeugtypen gibt es im aktuellen SPNV erhebliche Hemmnisse und ungenutzte Potenziale. Eine Erhöhung der Kapazität im Fall un-

vorhergesehener Nachfragespitzen, z. B. bei Großveranstaltungen, ist nur mit identischen Fahrzeugbaureihen möglich. Für jedes Teilnetz müssen eigene Fahrzeugreserven vorgehalten werden, sodass im täglichen Betrieb unnötige Redundanzen entstehen und die Fahrzeugbeschaffung zu erheblichen Mehrkosten führt. Außerdem sind die Möglichkeiten für Linienverknüpfungen bei einer Neugestaltung von ausgeschriebenen Teilnetzen stark eingeschränkt, da Bestandsfahrzeuge aus vorangegangenen Ausschreibungen und unterschiedlichen Netzen größtenteils nicht miteinander kuppelbar sind.

Technische Aspekte einer Multikuppelbarkeit im SPNV

Die MKB wird in einem aktuellen DZSF-Projekt [1] als eine universale Kuppelbarkeit von SPNV-Fahrzeugen definiert. Dabei können

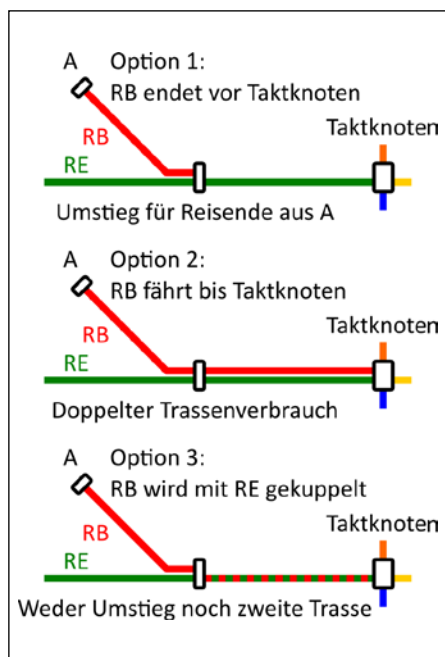


Abb. 1: Prinzipdarstellung der Effekte einer Multikuppelbarkeit bei parallel verlaufenden Nahverkehrslinien im Zulauf auf große Knotenbahnhöfe Quelle: DLR

sämtliche Fahrzeuge universell miteinander gekuppelt und gemeinsam im Zugverband im Fahrgastbetrieb verwendet werden, ohne die bisher einschränkenden Randbedingungen wie unterschiedliche Baureihen, Antriebsarten oder Netzzugehörigkeiten beachten zu müssen.

Insgesamt betrachtet kann eine potenzielle Kuppelbarkeit in vier verschiedene Anforderungsstufen unterteilt werden. Zunächst sollten die verschiedenen Fahrzeuge mechanisch kuppelbar sein, gefolgt von einer pneumatischen, elektrischen und softwareseitigen Kuppelbarkeit. Ein mechanisches Kuppeln ist oft möglich, da die meisten Triebzüge im SPNV (ca. 90 %) die Scharfenbergkupplung (SchaKu) Typ 10 mit ähnlicher Einbauhöhe besitzen. Ein gekuppelter, baureihenübergreifender Betrieb scheitert zumeist daran, dass Triebzüge unterschiedlicher Hersteller, Baujahre und Baulose verschiedene Pin-Belegungen an der Elektrokupplung oder Unterschiede in der Leittechnik (Software) aufweisen. Der prinzipielle Aufbau der Leittechnik ist vorgegeben, die zu übertragenden Funktionen und ihre jeweiligen Protokolle sind es jedoch nicht. Die Hersteller können Funktionen und verwendete Protokolle je nach Fahrzeugprojekt frei konfigurieren. Dementsprechend sind aktuell nur wenige SPNV-Fahrzeuge elektrisch und softwareseitig miteinander kuppelbar. Dies beschränkt sich hauptsächlich auf identische Baureihen. Eine baureihenübergreifende Kuppelbarkeit ist nur in Einzelfällen bei Fahrzeugen derselben Plattform möglich.

Die Gründe für eine bislang fehlende MKB liegen im Spannungsfeld aus Wirtschaftlichkeit, Technik sowie Administration. Die wirtschaftlichen Aspekte tangieren einerseits die Hersteller und andererseits die Besteller der Fahrzeuge. Multikuppelbare Fahrzeuge müssten sämtliche denkbaren Funktionen abbilden und übertragen können, die allerdings nicht alle Kunden benötigen und dementsprechend finanzieren wollen. Für die Zulassung einer MKB wird ein deutlicher finanzieller und technischer Mehraufwand erwartet. Dazu müssten sämtliche Konfigurationen der zu kuppelnden Fahrzeuge geprüft werden.

Technische Aspekte betreffen, wie oben dargestellt, eine fehlende Normung der Schnittstelle zwischen den Fahrzeugen, primär auf elektrischer und informationstechnischer Seite.

Die administrativen Aspekte beziehen sich insbesondere auf die Regionalisierung der Verkehrsleistungen im SPNV und die damit verbundene Vielzahl an Akteuren und Bestellern. Die meisten SPNV-Fahrzeuge werden mit speziellen Ausstattungen oder individualisierten Funktionen für das jeweilige ausgeschriebene Netz beschafft. Es gibt zwar Empfehlungen für Anforderungen an Fahrzeuge in Vergabeverfahren, die aber nicht bindend sind.

Multikuppelbarkeit im SPNV aus betrieblicher Sicht

Vorteile einer Multikuppelbarkeit

Die Bundesregierung will in den kommenden Jahrzehnten das Angebot im Bereich des Schienenverkehrs deutlich ausbauen und Kapazitätsengpässe im Netz beseitigen [2, 3]. Eine MKB kann einen Beitrag zur Kapazitätssteigerung und zur flexibleren Betriebsabwicklung leisten. Ein bedeutender Vorteil einer MKB ist der uneingeschränkte Fahrzeugeinsatz: Sowohl im Planbetrieb als auch bei Abweichungen von diesem könnten Fahrzeuge unterschiedlicher Baujahre und Hersteller miteinander kombiniert werden. Weitere positive Aspekte ergeben sich aus der flexiblen Liniengestaltung: Durch die MKB können trassensparende Linienführungen auf stark belasteten Korridoren und im Zulauf auf große Knoten realisiert werden, indem dort mehrere Linienäste als gemeinsamer Zugverband geführt werden. Auf hochbelasteten Korridoren kann ein Angebotszuwachs ggf. erst durch eine MKB umsetzbar sein, da ansonsten keine weiteren Trassen für den SPNV verfügbar sind. Die MKB bietet zudem die Option, Nebenstrecken in ländlichen Regionen stärker mit den Hauptachsen des Schienenverkehrs zu verknüpfen. So besteht mittels MKB die Möglichkeit, Streckenäste mit geringerem Fahrgastaufkommen umsteigefrei bis in die Knoten durchzubinden. Selbst wenn die Linie der Hauptbahn und der Nebenbahn aus verschiedenen Teilnetzen stammen, würde dies im Gegensatz zur aktuellen Situation

kein Problem darstellen. Somit kann die Zahl der Direktverbindungen deutlich erhöht werden, und aufwendige sowie verspätungsanfällige Umstiege würden entfallen. Auch im Stationsbereich kann durch die Einführung einer MKB ein betrieblicher Vorteil erzielt werden. Durch das Zusammenlegen und Durchbinden einzelner Linien kann die Bahnsteigbelegung reduziert werden.

Hinsichtlich des betrieblichen Störfallmanagements bietet eine MKB eine deutliche Erweiterung der Handlungsoptionen. Da unterschiedliche Fahrzeuge einander ersetzen können, sind Ersatzverkehre schneller und reibungsloser zu organisieren. Bei einer flächendeckend umgesetzten MKB ist ein strecken-, netz- oder auch bundesländerübergreifender Fahrzeugaustausch denkbar. Auch auf regionaler Ebene könnten Teilausfälle bei Mehrfachtraktionen mithilfe einer MKB ausgeglichen werden. Durch eine MKB sind Liniennetzanpassungen deutlich flexibler zu gestalten. Änderungen am Liniennetz, die bislang an nicht kuppelbaren Fahrzeugen scheitern, könnten mithilfe der MKB schneller als bisher an aktuelle Bedarfe angepasst werden. Insbesondere nachfrageabhängige Flügelzugkonzepte könnten sich mittels MKB besonders vorteilhaft umsetzen und verknüpfen lassen. Abb. 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer möglichen Kapazitätssteigerung. Bei Option 1 endet eine Regionalbahnlinie bereits am Hauptkorridor im Zulauf auf einen großen Knoten (Taktknoten). Dies bedeutet einen Umstieg der Fahrgäste bspw. in einen Regionalexpress in Richtung des Großknotens. Bei Option 2 verkehrt die Regionalbahn durchgehend bis in den Großknoten. Dabei kann auf den bislang notwendigen Umstieg verzichtet werden, allerdings ist eine weitere Trasse erforderlich. In der dritten Option ist schließlich aufgrund der MKB weder ein Umstieg noch eine zusätzliche Trasse für die Regionalbahn erforderlich. Das Verfahren aus Option 3 wird im Folgenden im Rahmen einer betrieblichen Untersuchung näher erläutert.

Herausforderungen bei einer Multikuppelbarkeit

Neben den soeben dargestellten Potenzialen einer MKB sollten ebenfalls Aspekte diskutiert werden, die einer MKB bislang entgegenstehen. Einerseits liegen diese in einer technischen Inkompatibilität der Fahrzeuge untereinander, andererseits sind sie in den betrieblichen Herausforderungen zu finden. Bei einem Fahrplan mit zahlreichen Kuppelmanövern kommt es betriebsbedingt zu Reisezeitverlusten von einigen Minuten, welche sich durch kupplungsbedingte längere Standzeiten am Bahnsteig ergeben ([1], Anhang 9). In der Fahrplankonstruktion müssen die durch den Kupplungsvorgang verlängerten Haltezeiten sowie Gleisbelegungszeiten je Zug berücksichtigt werden.



Abb. 2: Untersuchungsraum Offenburg und Umgebung für mögliche Anwendungsfälle einer Multikuppelbarkeit im Schienenpersonennahverkehr
 Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: OpenStreetMap, 09.02.2023 um 13:30

Darüber hinaus kann es bei Kuppelmannövern im Rahmen der MKB zu einer Verspätungsübertragung auf einen bislang pünktlichen Zug kommen, welcher auf einen verspäteten Zugteil warten muss. Da die Einfahrtgeschwindigkeiten insbesondere der zweiten

Zugteile aufgrund der Einfahrt in besetzte Bahnsteiggleise reduziert sind, kann sich die Leistungsfähigkeit von einzelnen Eisenbahnknoten bei einer flächendeckenden Nutzung der MKB verringern. Die Sicherstellung der entsprechenden Kupplungsinfrastruktur ist

eine weitere Herausforderung. Eine MKB erfordert insbesondere eine angepasste Leit- und Sicherungstechnik sowie ausreichend lange Kuppel- und Bahnsteiggleise. Durch die vermehrt auftretenden Kuppelvorgänge kann es bei großflächiger Anwendung der MKB am Korridorbeginn, wo gekuppelt wird, zu längeren Haltezeiten kommen. Dort kann ein kapazitätsbeschränkter Bereich ggf. zusätzlich strapaziert werden. Dies ist besonders bei der Einbindung in bestehende Fahrplankonzepte wie den Deutschlandtakt 2030 zu bedenken. Gegebenenfalls notwendige, zusätzliche Fahrzeitreserven und Pufferzeiten für Kupplungsvorgänge können das Fahrplangefüge und die Kantenzugzeiten im Taktfahrplan verlängern, was Auswirkungen auf bisherige Taktknoten haben kann (Anschlussverluste, aufwendige Anpassung von Taktknoten etc.). Die Pünktlichkeit erfährt bei intensiver Nutzung einer MKB eine noch höhere Bedeutung, denn MKB-Manöver erfordern aufgrund engerer Linien- und Umlaufverknüpfungen eine hohe Fahrplanstabilität.

Betriebliche Untersuchung

Zur Bewertung der betrieblichen Auswirkungen einer MKB wurden mithilfe einer bahnbetrieblichen Analyse verschiedene Fahrplankonstruktionen durchgeführt. Bei der Auswertung standen insbesondere die eisenbahnbetrieblichen Parameter Kapazität, Trassenverfügbarkeit sowie die Gleisbelegung in den Knoten im Fokus.

Der Untersuchungsraum wird durch die SPNV-Strecken um den Knoten Offenburg (bis Strasbourg, Ottenhöfen, Bad Griesbach, Oberharmersbach-Riersbach, Biberach, Hornberg) und die Abschnitte der Rheintalbahn zwischen Offenburg und Achern begrenzt (Abb. 2).

Das Basis-Szenario ist an den aktuellen Planungsstand des Deutschlandtakts 2030 [4] angelehnt und berücksichtigt eine stark eingeschränkte Kuppelbarkeit im SPNV. Demgegenüber steht das Planfall-Szenario, welches ebenfalls auf dem Deutschlandtakt 2030 basiert. In diesem Fall wird eine umfassende MKB des SPNV unterstellt. Im konkreten Anwendungsfall wird die Kupplung von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEMU) mit einem Elektrotriebwagen (EMU) auf der Rheintalbahn zwischen Achern und Offenburg angenommen.

Bei den mittels MKB zu verknüpfenden Linien handelt es sich um die Regionalbahnlinien Biberach – Oberharmersbach (OSB 4) und Offenburg – Achern – Ottenhöfen (OSB 1) sowie den Regionalexpress Karlsruhe – Achern – Offenburg – Konstanz (BW 10 Ex). Die BEMU-Fahrzeuge enden bislang in Biberach bzw. Offenburg. Der Regionalexpress befährt die Rheintalbahn auf dem Abschnitt Offenburg – Achern (Abb. 3). Das Ziel in diesem Beispiel ist die Verlängerung

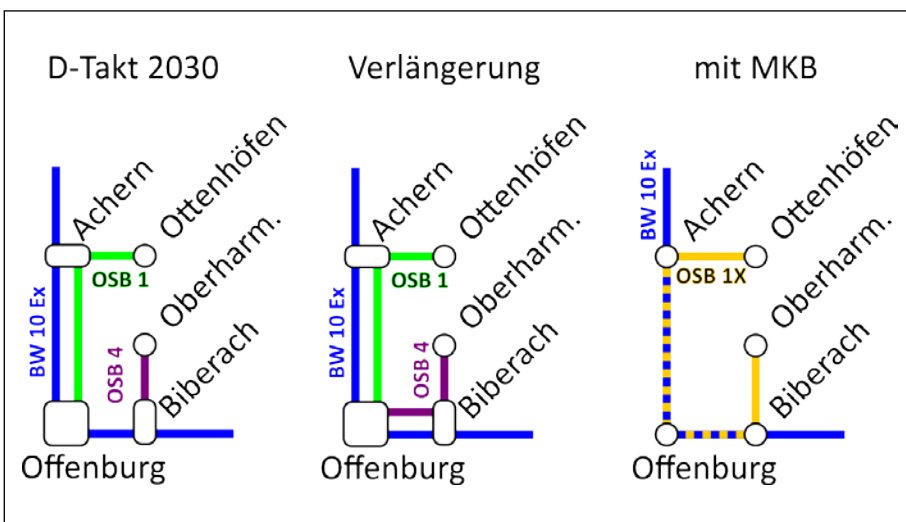


Abb. 3: Anwendungsfall Multikuppelbarkeit mit Verknüpfung von zwei Regionalbahnlinien sowie einer Regionalexpresslinie auf einem Abschnitt der Rheintalbahn
 Quelle: DLR

der Linie OSB 4 bis Offenburg sowie eine Verknüpfung mit der Linie OSB 1, sodass eine Durchbindung von Oberharmersbach bis Ottenhöfen entsteht (OSB 1X). Um die Rheintalbahn sowie den Knoten Offenburg nicht zusätzlich zu belasten, sollen die beiden BEMU-Linien gemeinsam mit dem RE (BW 10 Ex) gekuppelt und die Rheintalbahn gebündelt befahren werden. Die notwendigen Kuppelvorgänge finden in den Bahnhöfen Biberach und Achern statt.

Im Hinblick auf die unterschiedlichen fahrdynamischen Eigenschaften des RE und der RB-Fahrzeuge wurde untersucht, wie sich die gekuppelte Fahrt auf der Rheintalbahn auf die Fahrzeit und damit auf den Fahrplan sowie die Streckenkapazität auswirkt. Die Fahrplankonstruktion zeigt, dass das hier beschriebene betriebliche Vorgehen in diesem Fall ohne zusätzlich entstehende Konflikte möglich ist und der Fahrzeitzuwachs aufgrund der unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten gering ausfällt. Das hier jedoch teilweise erforderliche Fahren im Gegengleis ist allerdings eine Betriebsweise, die abgewogen werden sollte. Auch wenn die Fahrplankonstruktion im vorliegenden Einzelfall eine Konfliktfreiheit bestätigt, soll-

te eine regelmäßige Anwendung auf einem hochbelasteten Korridor wie der Rheintalbahn vermieden werden.

Die Einführung einer MKB steigert die Zahl an Direktverbindungen, sodass die Zahl an Umstiegen reduziert werden kann. Außerdem kann die Fahrgastkapazität insbesondere vor und nach wichtigen Knoten erhöht werden, ohne zusätzliche Trassen zu beanspruchen. Im dargestellten Anwendungsfall verkehren bspw. mehrere Zugteile in einem Zugverband gekuppelt im Abschnitt Achern – Offenburg – Biberach. Allerdings kommt es durch den Kupplungsvorgang zu verlängerten Haltezeiten, die es in den bisherigen Fahrplan einzuarbeiten gilt. Die zusätzliche Kuppelzeit innerhalb der Bahnhöfe und die damit verbundene Gleisbelegungszeit des Zuges stellen eine große betriebliche Herausforderung dar. Auf einigen Streckenabschnitten kann es für Fahrgäste zu Fahrzeitverlängerungen gegenüber dem bisherigen Fahrplan kommen, weil Kuppelzeiten abgewartet werden müssen, welche ohne MKB nicht auftreten (z.B. 5 Minuten längere Haltezeit des Regionalexpress-Zuges BW 10 Ex in Achern). Es ist daher zu untersuchen, ob insbesondere im Deutschlandtakt

2030 noch Fahrzeitreserven zwischen zwei Halten eingeplant werden können, um diese verlängerte Fahrzeit auszugleichen.

Im dargestellten Anwendungsfall war die Kapazitätserhöhung, also die Einsparung von Fahrplantrassen im Hauptkorridor durch das Zusammenlegen von Linien, ein wichtiges Kriterium. Durch die Bündelung von Fahrten anstelle zweier separater SPNV-Zugfolgen unmittelbar hintereinander konnte eine kapazitive Trasseneinsparung von einer Trasse pro Stunde und Richtung erreicht werden. Es ist herauszustellen, dass der hier untersuchte Anwendungsfall nur einen Teilausschnitt des deutschen Streckennetzes abbilden konnte. Die Erkenntnisse zur betrieblichen MKB sind nur eingeschränkt auf weitere Knoten und Streckenabschnitte übertragbar. Wenn durch den flächendeckenden Einsatz einer MKB in Zukunft deutlich mehr Kupplungsvorgänge im Schienennetz durchgeführt werden, ist besonders vor großen Taktknoten zu überprüfen, ob eine Umsetzung innerhalb des Deutschlandtakts 2030 realisierbar ist. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Reserven für die Kantenfahrzeit ist dann zu ermitteln, ob eine Einbindung in den bisherigen Fahrplanentwurf möglich ist.



MODULARE STECKVERBINDER FÜR DIE BAHNINDUSTRIE

EvoTrak – die wahre Modularität

FAST MOVING TECHNOLOGY

STÄUBLI

EvoTrak Familie

Die gleiche Anschlussphilosophie für Ihre gesamte Antriebskette, dank der **kompakten und flexiblen modularen** Lösungen der EvoTrak-Familie. Exakt auf **Ihre Bedürfnisse konfigurierbar** von 1 bis 4 Polen, gerades oder/und abgewinkeltes Stück zum Anschluss an gerades Element oder Schaltschrankdose. EvoTrak **erfüllt alle aktuellen Normen** und ist **über die Anforderungen der Bahn hinaus getestet**. Bewährte Zuverlässigkeit für alle, die auf Nummer sicher gehen wollen.

EvoTrak MPC - Modular power connector

Mit verschiedenen Optionen (Zugentlastung für dynamische Kabel, Anschlusshilfe und vieles mehr) entscheiden Sie, welche Optionen Sie benötigen - 100 % flexibel.

EvoTrak lite - Modular metal connector

perfekt **angepasst an die Größenbeschränkungen von Stadtbahnwagen**. EvoTrak lite bietet unschlagbare Funktionskombinationen auf kleinstem Raum, mit **EMV-Option** für geschirmte Kabel, Poltrennung für **Permanentmagnetmotoren**, IP2X und vielem mehr.

Ihr Experte für Eisenbahnverbindungslosungen seit mehr als 30 Jahren.

www.staubli.com



Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Studie konnte eine Vielzahl von Vorteilen aufgezeigt werden, welche die Sinnhaftigkeit einer MKB unterstreichen. Hierzu gehören beispielsweise die Erhöhung von Direktverbindungen wie auch die gesteigerte betriebliche Flexibilität durch den wechselseitigen Einsatz von Fahrzeugen. Bei der Einführung einer flächendeckend verfügbaren MKB müssen allerdings noch einige Hürden bewältigt werden. Einerseits sind die betrieblichen Herausforderungen zu meistern, welche sich insbesondere in der Kuppelzeit innerhalb der Bahnhöfe und der damit verbundenen Gleisbelegungszeit des Zuges darstellen. Andererseits sind vor allem die technischen Aspekte zur Umsetzung einer MKB insbesondere mit den Schienenfahrzeugherstellern zu klären. Weiter sollten die Aufgabenträger als Besteller der Verkehrsleistungen und Linienkonzepte im Migrationsprozess als zentrale Akteure definiert werden. Darüber hinaus sind Erfahrungen aus anderen Bahnbereichen nutzbar. So bieten sich die gewonnenen Erkenntnisse der aktuell in Planung befindlichen Migration zur Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) bei Güterwagen an [5, 6]. Sinnvolle Aspekte zur Umsetzung und Einführung lassen sich auf die MKB im SPNV übertragen. Außerdem sollte die Chance genutzt werden, die MKB in parallel laufende Großvorhaben wie den Deutschlandtakt 2030 und weitere Projekte einzubinden (z. B. Digitale Schiene Deutschland [7, 8]), vor allem in Knotenbereichen zur Schaffung ausreichender Gleiskapazitäten. Auch wenn eine MKB erst in einigen Jahren verfügbar sein wird, sollte sie von nun an stets berücksichtigt werden. Um eine MKB voranzubringen, werden folgende Handlungsempfehlungen gegeben (Auswahl):

- Einfordern einer betrieblichen, netzübergreifenden Kuppelbarkeit in zukünftigen Ausschreibungen (ggf. in Verbindung mit einem Fahrzeug-Pool-Modell sowie einheitlichem Lastenheft)

- frühzeitige Berücksichtigung der MKB bereits bei der grundlegenden Netzkonzeption sowie bei langfristigen Liniennetz-Überarbeitungen, insbesondere eng abgestimmt zwischen Aufgabenträgern und Bundesländern

- Aufbau einer länderübergreifenden, MKB-fähigen SPNV-Reserveflotte, um schneller auf Fahrzeugausfälle reagieren zu können.

Zur Einführung der MKB wird ein stufenweises Vorgehen empfohlen, ähnlich wie beim Deutschlandtakt 2030, um zeitnah erste Modellregionen bzw. Verbesserungen für Betreiber und Fahrgäste sichtbar machen zu können. Dazu sollte geprüft werden, wo die MKB innerhalb weniger Jahre bereits umgesetzt werden kann. Schließlich sollte ein Masterplan zur Einführung und Etablierung einer flächendeckenden MKB erstellt werden, um den SPNV langfristig zu stärken. Das Thema Multikuppelbarkeit erfordert weitere Studien, Untersuchungen und tiefergehende Betrachtungen. ■

Dieses Vorhaben wurde gefördert durch das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt. Die Autoren danken der Firma J. M. Voith SE & Co. KG, Salzgitter und Kiel, für die fachliche Unterstützung dieser Studie.

QUELLEN

- [1] Skorsetz, S.; Mönsters, M.; Meirich, C.: Kuppelbarkeit von Nahverkehrstriebwagen und -zügen; Forschungsbericht 34 (2023), Dresden, Januar 2023, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Schriftenreihe „Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung“, ISSN 2629-7973, https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2023/ForBe_34_2023_Kuppelbarkeit_SPNV.html?nn=2203708, doi: 10.48755/dzsf.230002.01, <https://doi.org/10.48755/dzsf.230002.01>, 27.02.2023 um 10:30
- [2] Masterplan Schienenverkehr, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Juni 2020, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/masterplan-schiennenverkehr.pdf?__blob=publicationFile, 09.02.2023 um 10:30
- [3] Beschleunigungskommission Schiene, Abschlussbericht, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Dezember 2022, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/abschlussbericht-beschleunigungskommission-schiene.pdf?__blob=publicationFile, 09.02.2023 um 10:30
- [4] Abschlussbericht zum Zielfahrlan Deutschlandtakt, Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung, SMA und Partner AG et al., im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, Version 3-00, 01.09.2022, https://downloads.ctfassets.net/scbs508bajse/7082P0qqjFPmrt6FSXSxy/f2f48d117f4399a3b165cac6ebf4f179/2022-09-01_Abschlussbericht_Deutschlandtakt_3-00.pdf, 09.02.2023 um 10:30
- [5] hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH Karlsruhe: Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr, Schlussbericht, für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 29.06.2020, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/schlussbericht-dak-studie.pdf?__blob=publicationFile, 09.02.2023 um 10:30
- [6] EDDP, European DAC Delivery Programme, Europe's Rail Joint Undertaking, Einrichtung eines EU-weiten Migrationsprogramms für die DAK, <https://rail-research.europa.eu/european-dac-delivery-programme/>, 09.02.2023 um 10:30
- [7] Digitale Schiene Deutschland, Deutsche Bahn AG, <https://digitale-schiene-deutschland.de>, 09.02.2023 um 10:30
- [8] Biembacher, I.; Hundertmark, A.; Marsch, P.; Fiack, A.; Grell, A.; Spiegel, D.; Heimes, M.; Laux, T.: Blick in die Zukunft der Eisenbahn – Grundlagen des digitalen Bahnsystems, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2023, S. 116-142, DVV Media Group GmbH, Hamburg, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2022_12_Blick%20in%20die%20Zukunft%20der%20Eisenbahn%20%E2%80%93%20Grundlagen%20des%20digitalen%20Bahnsystems.pdf, 09.02.2023 um 10:30

de/SharedDocs/DE/Anlage/K/abschlussbericht-beschleunigungskommission-schiene.pdf?__blob=publicationFile, 09.02.2023 um 10:30

[4] Abschlussbericht zum Zielfahrlan Deutschlandtakt, Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung, SMA und Partner AG et al., im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, Version 3-00, 01.09.2022, https://downloads.ctfassets.net/scbs508bajse/7082P0qqjFPmrt6FSXSxy/f2f48d117f4399a3b165cac6ebf4f179/2022-09-01_Abschlussbericht_Deutschlandtakt_3-00.pdf, 09.02.2023 um 10:30

[5] hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH Karlsruhe: Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr, Schlussbericht, für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 29.06.2020, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/schlussbericht-dak-studie.pdf?__blob=publicationFile, 09.02.2023 um 10:30

[6] EDDP, European DAC Delivery Programme, Europe's Rail Joint Undertaking, Einrichtung eines EU-weiten Migrationsprogramms für die DAK, <https://rail-research.europa.eu/european-dac-delivery-programme/>, 09.02.2023 um 10:30

[7] Digitale Schiene Deutschland, Deutsche Bahn AG, <https://digitale-schiene-deutschland.de>, 09.02.2023 um 10:30

[8] Biembacher, I.; Hundertmark, A.; Marsch, P.; Fiack, A.; Grell, A.; Spiegel, D.; Heimes, M.; Laux, T.: Blick in die Zukunft der Eisenbahn – Grundlagen des digitalen Bahnsystems, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2023, S. 116-142, DVV Media Group GmbH, Hamburg, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2022_12_Blick%20in%20die%20Zukunft%20der%20Eisenbahn%20%E2%80%93%20Grundlagen%20des%20digitalen%20Bahnsystems.pdf, 09.02.2023 um 10:30



Michael Mönsters, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
DLR, Institut f. Verkehrssystemtechnik,
Braunschweig
michael.moensters@dlr.de



Jakob Geischberger, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
DLR, Institut f. Verkehrssystemtechnik,
Braunschweig
jakob.geischberger@dlr.de



Dr.-Ing. Christian Meirich

Gruppenleiter Bahnbetrieb
DLR, Institut f. Verkehrssystemtechnik,
Braunschweig
christian.meirich@dlr.de



Zaki Kebdani, M. Eng.

Wissenschaftlicher Referent
Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim
Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden
kebdaniz@dzsf.bund.de



Dipl.-Ing. Philip Ritzer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
DLR, Institut f. Verkehrssystemtechnik,
Braunschweig
philip.ritzer@dlr.de



Dipl.-Ing. Sebastian Skorsetz

Akademischer Mitarbeiter
Institut für Maschinenelemente (IMA)
Universität Stuttgart, Stuttgart
sebastian.skorsetz
@ima.uni-stuttgart.de



Dr. Norman Weik

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
DLR, Institut f. Verkehrssystemtechnik,
Braunschweig
norman.weik@dlr.de



Dr.-Ing. Martin Kache

Sachbereichsleiter
Aufsicht über den Eisenbahnbetrieb,
Überwachung von Gefahrguttransporten
und Technische Arbeitsschutzaufsicht
Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
kachem@eba.bund.de