

# Digitaler Knoten Stuttgart: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung

Die Evaluierung der pilothaften Förderung des Bundes liefert wichtige Erkenntnisse für die weitere Umsetzung der Digitalen Schiene Deutschland.

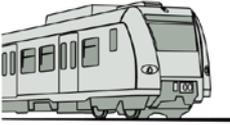
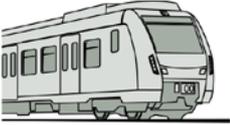
Baureihe	Hersteller	Stückzahl	Typ	Anzahl First of Class	zusätzliche Prototypen	Gründe für Notwendigkeit
 BR 423 S-Bahn	ALSTOM	60		1	2	
 BR 430 S-Bahn	ALSTOM	97 58	(BR 430.0) (BR 430.2)	1 1	1 1	zwei Generationen, 2. Serie nach 4. Eisenbahnpaket in Betrieb genommen und später entwickelt/gefertigt
 Flirt 3 Regionalverkehr	STADLER	13 9 19 14 11	(3-teilig) (4-teilig) (5-teilig) (6-teilig) (XL, 3-tlg.)	5	2	fünf verschiedene Längen, unterschiedliche Zugbeeinflussungssysteme
 Talent 3 Regionalverkehr	ALSTOM	26 26	(3-teilig) (5-teilig)	2	1	zwei Zuglängen
		<b>zusammen: 333</b>		<b>10</b>	<b>7</b>	

Abb. 1: Für die Nachrüstung von 333 Triebzügen im DKS sind zehn First-of-Class- und sieben weitere Prototyp-Triebzüge erforderlich.

Quelle: DB

FRANK DIETRICH | LYNN MOLTERER |  
FRANK PHILIPPSEN | PETER REINHART |  
CHRISTIAN SCHUNKE-MAU |  
THOMAS VOGEL |  
HUBERTUS WESTER-EBBINGHAUS

Im Rahmen eines Modellvorhabens fördert der Bund im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) die Ausrüstung von Fahrzeugen mit European Train Control System (ETCS) und weiteren Techniken der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) mit zunächst fast einer halben Milliarde Euro. Im Fokus steht dabei die Ausrüstung von Triebzügen des Landes Baden-Württemberg und der S-Bahn Stuttgart. Eine nun vorliegende Evaluierung zeigt, wie die mit der Förderung verbundenen Ziele erfüllt werden. Für die bundesweite Ausrüstung bedarf es aber eines nochmals deutlich koordinierteren Vorgehens. Nur mit einer klug gestalteten Förderung und Koordination der Fahrzeugausrüstung

kann es nach Überzeugung der am DKS Beteiligten gelingen, die Digitalisierung im Gesamtsystem Bahn in Deutschland zum Erfolg zu führen.

## Motivation

Im Rahmen des DKS werden schrittweise rund 500 Netzkilometer mit Digitalen Stellwerken (DSTW), ETCS „ohne Signale“ (oS) und weiteren Techniken der DSD ausgerüstet [1]. Ein integraler Bestandteil des Projekts ist die eng darauf abgestimmte Nachrüstung von 333 Triebzügen sowie die Beschaffung von zunächst 130 bereits in Fertigung befindlichen Doppelstocktriebzügen, die „ab Werk“ mit den entsprechenden Techniken gemäß Betrieblich-Technischen Zielbild [2] ausgestattet werden [3, 4]. Auch eine Reihe von Instandhaltungsfahrzeugen wird nachgerüstet [5]. Das Vorhaben wird durch die Bundesrepublik Deutschland, das Land Baden-Württemberg, die Region Stuttgart, die Deutschen Bahn AG (DB) und die Europäische Union finanziert.

Im Rahmen eines Modellvorhabens fördert der Bund dabei erstmalig anteilig die Ausrüstung von Fahrzeugen mit ETCS und weiteren DSD-Techniken. Damit sollen u.a. frühzeitig Erfahrungen gesammelt und mögliche Kapazitätssteigerungen einer räumlich und zeitlich koordinierten Fahrzeug- und Infrastrukturausrüstung ermittelt werden. Die Anfang 2021 veröffentlichte Förderrichtlinie ist auch an 24 technische Bedingungen geknüpft, wobei Sonderlösungen im Einzelfall (wie Instandhaltungsfahrzeuge) möglich sind [6]. Es liegen eingegangene und erwartete Förderanträge im Gesamtumfang von ca. 620 Mio. EUR vor. Dem steht ein Fördervolumen von bislang 482 Mio. EUR gegenüber. [7] Die Höhe der Zuwendungen ist gemäß Richtlinie auf höchstens 90 % der Kosten für First-of-Class (FoC)-Fahrzeuge bzw. höchstens 50 % für Serienausrüstung begrenzt. Förderanträge können noch bis 31. Dezember 2025 gestellt werden. Gemäß der Richtlinie war das Modellvorhaben bis 2022 erstmalig zu evaluieren. Diese Evaluierung wurde zwischen April und De-

zember 2022 durch eine Arbeitsgruppe mit Vertretern des Fahrzeugausrusters Alstom, des Bundes (BMDV und EBA), der Deutschen Bahn (DB AG, DB Netz, DB Regio) und des Landes Baden-Württemberg (als Auftraggeber von Fahrzeugausrüstung) erarbeitet. Im Ergebnis wurde eine mehr als 200-seitige Dokumentation erarbeitet, die weitgehend veröffentlicht (siehe Infokasten) wird – mit wesentlichen Erkenntnissen und Empfehlungen für die weitere bundesweite Umsetzung der DSD.

**Umsetzung der Förderrichtlinie**

Die Förderbedingungen des Bundes waren eine wesentliche Grundlage der Ausschreibungen für die DSD-Fahrzeugnachrüstung der Triebzüge [8].

Für vier Themenfelder, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht hinreichend spezifiziert waren, wurde die Innovationskooperation mit dem Auftragnehmer konzipiert. Darüber hinaus wurde ein zweistufiges Ausrüstungskonzept entworfen, um zunächst die Züge ab 2025 zeitgerecht zur Inbetriebnahme des Projekts Stuttgart 21 mit ETCS im Kern des DKS einsetzen zu können und gleichzeitig das GSM-R-Nachfolgesystem FRMCS so weit vorzubereiten, dass es in einer zweiten Stufe vergleichsweise einfach in Betrieb genommen werden kann [9].

Die Innovationskooperation wurde inzwischen erfolgreich abgeschlossen und dabei wurden unter anderem generische Lastenhefte für die DSD-Fahrzeugausrüstung erstellt. Die Ausrüstung der Doppelstocktriebzüge baut auf diese Erfahrungen auf und erfolgt analog. Im Ergebnis können auf

den insgesamt 463 Triebzügen alle 24 technischen Förderbedingungen des Bundes erfüllt werden.

**Wesentliche Erkenntnisse der Evaluierung**

**First-of-Class-Bündelung**

Bevor im Rahmen von Retrofit-Projekten eine Vielzahl gleicher Triebzüge effizient und zügig in Serie umgerüstet werden können, werden Züge als FoC und Prototyp-Züge umgerüstet, getestet und zugelassen. Diese Fahrzeuge werden dafür bis zu drei Jahre dem Betrieb entzogen.

Der Retrofit einer Baureihe umfasst typischerweise mehrere FoC-Fahrzeuge. Damit wird den vielfach innerhalb einer Baureihe existierenden Fahrzeugserien Rechnung getragen, die sich beispielsweise in Fahrzeugleittechnik (TCMS), Traktion und Bremse, bestehenden Zugbeeinflussungssystemen, Einbauorten- und -räumen oder zum Zeitpunkt der Genehmigung geltenden rechtlichen Anforderungen wesentlich unterscheiden. Insbesondere für Tests in Mehrfachtraktion kann ein FoC-Fahrzeug wiederum mehrere Prototypen nach sich ziehen. Für den DKS-Triebzug-Retrofit sind zehn FoC- bzw. weitere sieben Prototyp-Fahrzeuge erforderlich, bevor darauf aufbauend 316 Triebzüge in Serie umgerüstet werden können (Abb. 1). Die Kosten der reinen Umrüstung liegen in einer Größenordnung von 20 bis 30 Mio. EUR je FoC- und zwischen 300 000 und 400 000 EUR je Serienfahrzeug. Dazu kommen erhebliche Begleitkosten, beispielsweise für Ersatzfahrzeuge. [6]

Aufbauend auf einen Konzeptvorschlag des Verbandes der Bahnindustrie in Deutschland (VDB) [10], schlägt die Evaluierung vor, FoC-Projekte nach Komplexitätsgrad zu differenzieren, die Zahl der vollumfänglichen FoC-Projekte („Major-FoC“) auf das Geringstmögliche zu begrenzen und stattdessen wo immer möglich vereinfachte FoC-Projekte („Minor-FoC“) zu bilden. Damit einher gehen auch begleitende Vorschläge zur Optimierung des Zulassungsprozesses. Beim DKS-Retrofit wären nach dieser Logik jeweils fünf Fahrzeuge „Major-FoC“ und „Minor-FoC“.

Die Auswirkungen der Konzentration und Abstufung bei einem Ansatz für ganz Deutschland zeigt das Beispiel des Coradia Continental, von dem in Deutschland 432 Triebzüge in 26 Varianten bei sechs Betreibern in 16 verschiedenen Netzen im Einsatz sind: Statt mindestens 16 FoC- und 16 Prototyp-Fahrzeugen wären „nur“ noch vier Major-FoC, ein Minor-FoC sowie zwölf Prototypen erforderlich (Abb. 2).

**Koordination und Planungssicherheit**

Für die Nachrüstung der 333 Triebzüge im DKS wurden zwei Vergabeverfahren durchgeführt: DB Regio S-Bahn Stuttgart schrieb die Nachrüstung von 215 S-Bahn-Triebzügen (Baureihen 423, 430 und 430.2) aus, das Land Baden-Württemberg (SFBW) jene von 118 „Flirt 3“- und „Talent 3“-Triebzügen. [6] Beide Projekte wurden und werden durch die Beschaffung der DB (im Auftrag von DB Regio und SFBW) eng begleitet; auch die Vergabe an einen Lieferanten schafft zusätzliche Synergien. In einem gemeinsamen



Abb. 2: Wirkung der Koordination und Major- / Minor-FoC-Abstufung am Beispiel des Coradia Continental

Quelle: Alstom

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsche Bahn AG, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Alstom Transport Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Kraftakt von Alstom, DB, Land und weiteren Beteiligten ist die Prototypnachrüstung der von Alstom/Bombardier hergestellten drei Baureihen insgesamt auf Kurs. Die ebenfalls von Alstom nachgerüsteten Stadler-Flirt-Fahrzeuge sind aufgrund der besonders komplexen Koordination zwischen Fahrzeugausrüster und -hersteller (Original Equipment Manufacturer, OEM) um rund ein Jahr verzögert [1].

Obwohl bei der DKS-Nachrüstung bereits einige Synergieeffekte gehoben wurden, ließe sich die für Deutschland erforderliche Nachrüstung der übrigen etwa 13 000 [11] Triebfahrzeuge bzw. Triebzüge aus mehr als 300 Baureihen von etwa 300 Fahrzeughalten binnen etwa zehn Jahren so auf keinen Fall stemmen. Ohnehin knappe Ressourcen würden vollends überlastet, wenn Fahrzeuge einer Baureihe von unterschiedlichen Haltern weitgehend unkoordiniert im Rahmen vieler einzelner Ausschreibungsverfahren von verschiedenen Ausrüstern nach unterschiedlichen Lastenheften für die DSD ausgerüstet würden. Zudem würde der zeit- und kostenaufwendige FoC-Prozess bei baugleichen Baureihen mehrfach durchgeführt. Ein Ansatz für ein gegenüber der DKS-Nachrüstung effizienteres Vorgehen liegt darin, möglichst alle in Deutschland existierenden Fahrzeuge einer Baureihe koordiniert – durch einen Ausrüster, mit möglichst wenigen FoC- und Prototyp-Fahrzeugen – in einem Rutsch nachzurüsten. Auch mit einer entsprechenden Koordination käme es zu

etwa 300 Vergabeverfahren, wobei „unattraktive“ (z.B. kleine oder schlecht dokumentierte) Baureihen voraussichtlich das Nachsehen hätten.

Da ETCS in Fahrzeuge mit komplexer Leittechnik (TCMS) und ohne standardisierte Schnittstellen ohnehin praktisch nicht ohne umfassende Mitwirkung des OEM integriert werden kann, empfehlen Alstom, DB und Land Baden-Württemberg daher ein Partnerschaftsmodell, bei der jeweils etwa zehn Baureihen einer Fahrzeugklasse (wie Triebzüge) eines OEM zu bundesweit insgesamt etwa 30 Vergabepaketten gebündelt werden. Jedes Paket würde ungefähr 20 bis 25 FoC-Projekte und etwa 35 bis 50 Prototypen umfassen, wobei bis zu etwa 50 teilnehmende Fahrzeugbetreiber zu koordinieren wären. Die Pakete sollten über einen längeren Zeitraum angelegt sowie Anforderungen und Normen möglichst stabil gehalten werden, um ein hohes Maß an Planungssicherheit zu schaffen, einem koordinierten Hochlauf und somit auch weitreichenden Lern- und Skaleneffekten den Weg zu bereiten. Nach Präqualifikation und Verhandlung vergebene Rahmenverträge an den OEM könnten ein Mittel der Wahl sein, soweit ein Preiswettbewerb sichergestellt werden kann. Ähnliche Modelle, die eine Gruppierung von Baureihen vorsehen, werden bereits in Dänemark, Norwegen und Österreich angewendet. Die Nachrüstung von Fahrzeugen ohne TCMS (einschließlich historischen Fahrzeugen) könnten auf der Grundlage von Rahmenverträgen in einem

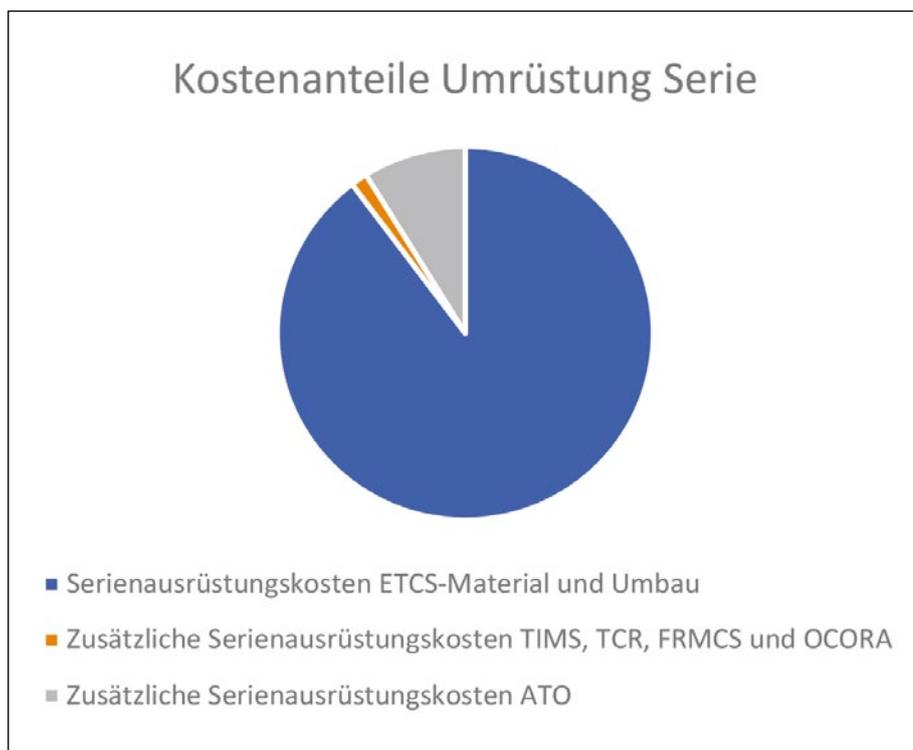
vereinfachten Wettbewerb nach Kriterien wie Preis oder Umrüstdauer vergeben werden.

### Wirkungen im System Bahn

Bereits die 2018 von McKinsey im Auftrag des Bundes vorgelegte Machbarkeitsstudie zeigte, wie eine progressive Einführung von DSTW und ETCS ohne Signale in der Infrastruktur schneller und wirtschaftlicher ist als eine schleppende, an rechtlichen und technischen Minimalanforderungen ausgerichtete DSTW/ETCS-Migration mit weitgehender Doppelausrüstung der Infrastruktur. Im progressiven Szenario wurde dabei eine der Infrastruktur vorauslaufende und geförderte Fahrzeugausrüstung bis 2030 unterstellt, damit diese Infrastruktur bis 2040 flächendeckend effizient mit DSTW und ETCS oS ausgerüstet werden kann. [12]

Die bisherigen Erkenntnisse im DKS unterstreichen die Sinnhaftigkeit dieses „vehicle first“-Ansatzes deutlich: So zeigt sich unter anderem in vorübergehend doppelt (ETCS „mit Signalen“) ausgerüsteten Bereichen im DSTW ein enormer und unerwartet großer Verkabelungsaufwand [1, 13]. Dabei führt beispielsweise die vorübergehende notwendige Doppelausrüstung [14] in Stuttgart-Bad Cannstatt zu einem verdreifachten Verkabelungsaufwand und bedingt einen zweiten Gleisfeldkonzentratoren.

Weit über Erkenntnisse der McKinsey-Studie hinaus zeigt der DKS ferner, wie mit zielgerichteter Optimierung im Gesamtsystem Bahn tatsächlich Kapazität für (viel) mehr Züge geschaffen werden kann. Während eine bloße ETCS-Ausrüstung mitunter sogar kontraproduktiv sein kann [16], können durch umfassende Optimierung beispielsweise die mittleren Mindestzugfolgezeiten auf der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart nach dem bislang als gesichert geltenden Stand um rund 35 % bzw. rund 50 Sekunden gegenüber konventioneller Technik (Ks-Signale mit PZB) verkürzt werden [1]. Der Großteil der Optimierungen setzt dabei eine passgenaue Fahrzeugausrüstung – über bloßes ETCS hinaus – voraus [15]. Derartige Fahrzeuganforderungen können jedoch in der Regel weder über die TSI noch Netzzugangsbedingungen gefordert werden. Dies betrifft Fahrzeuge, die nachgerüstet werden müssen, und Neufahrzeuge gleichermaßen. Nutzen und Kosten sind dabei im System Bahn ungleich verteilt: Unter dem Strich entsteht eine kostengünstigere und eher leistungsfähigere sowie robustere Infrastruktur, während die Fahrzeugausrüstung deutlich komplexer und aufwendiger wird. Gleichwohl ergeben sich auch für Eisenbahnverkehrsunternehmen, Fahrzeughalter und Aufgabenträger viele Chancen – beispielsweise durch günstigere Fahrlagen mit weniger Betriebshalten oder optimale Trajektorien, die weniger Traktionsenergiebedarf, Verschleiß und Verspätungen erwarten lassen.



**Abb. 3:** Bei der Seriennachrüstung der DKS-Triebzüge entfallen etwa 90 % von rund 350 000 EUR auf die reine ETCS-Ausrüstung. ATO und die Gegenstände der Innovationskooperation machen in Summe nur etwa 10 % aus. Quelle: Alstom

### Technische Ausrüstung „aus einem Guss“

Die Nachrüstung der komplexen und sicherheitsrelevanten ETCS-Fahrzeugausrüstung stellt einen tiefgreifenden Eingriff in ein Fahrzeug dar. Sie umfasst dutzende von Komponenten, einige Kilometer Kabel, erfordert umfangreiche Planung, Tests sowie eine neue Zulassung [3]. Entsprechend macht die bloße ETCS-Ausrüstung beim Retrofit der DKS-Triebzüge rund 90 % der Kosten aus, sämtliche weiterführenden Optimierungen – beispielsweise ATO GoA 2, ETCS Level 3/TIM, FRMCS und optimierte Bremskurven – in Summe hingegen nur etwa 10 % (Abb. 3) [16]. Eine spätere Nachrüstung wäre aufgrund zusätzlicher Zulassungs-, Ersatzfahrzeug-, Einbau- und Personalaufwände und fehlender Werkstattkapazitäten sehr viel aufwendiger als diese nun „aus einem Guss“ mit im Wettbewerb vergebenen, von Beginn an mit eingeplanten sowie mit in Betrieb zu setzenden Techniken und Optimierungen. Diese sind nicht nur für die genannten Kapazitätsoptimierungen entscheidend, sondern stiften auch weitreichenden Nutzen in der Infrastruktur: So wird durch viele entsprechend ausgerüstete Züge nicht nur die Migration auf FRMCS wesentlich erleichtert, sondern es werden beispielsweise durch TIM/ETCS Level 3 perspektivisch viele Achszählpunkte entbehrlich. Auch in kaum bekannten Feinheiten wie Cold Movement Detection [3] oder der Unterstützung des erweiterten GSM-R-Frequenzbandes liegen wesentliche Spielräume für eine einfachere Infrastruktur [6]. Ohne die klaren, für die Industrie teils durchaus fordernden Förderbedingungen des Bundes wäre eine Umsetzung im DKS so nicht möglich gewesen. Diesen Chancen stehen gleichwohl auch Risiken und Unsicherheiten der frühen Anwendung gegenüber. Sie werden mit weiterer Kon-

cretisierung und Erfahrungen – beispielsweise mit der in Kürze erwarteten TSI ZZS 2023 – schwinden. Auch das bei den DKS-Triebzügen noch notwendige Zwei-Stufen-Konzept [6] zur Sicherstellung der Inbetriebnahme von Stuttgart 21 wird zukünftig so nicht mehr erforderlich sein, was nicht zuletzt zu Kostensenkungen führen dürfte.

### Resümee und Ausblick

Die Erkenntnisse aus der Evaluierung geben einen Vorgeschmack auf die Aus- und Umrüstung von etwa 13 000 Triebfahrzeugen und Triebzügen für die DSD. Eine zentrale Koordination ist nach Auffassung aller Beteiligten der Evaluierung in vielerlei Hinsicht unabdingbar, gleichwohl unterschiedliche Auffassungen bestehen, wo diese anzusiedeln ist. Seitens Alstom, DB und Land Baden-Württemberg wird auch eine zeitlich begrenzte Förderung bei Neufahrzeugen für hochgradig sinnvoll erachtet. In einer klug gestalteten Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung liegt nach Auffassung aller Beteiligten das wichtigste Instrument der zentralen Koordinierung. Die Förderung sollte hinreichend attraktiv sein, damit sich möglichst alle betroffenen Halter in Deutschland an ihr beteiligen, um sowohl die Umrüstung so effizient wie irgend möglich zu machen als auch den Nutzen im Gesamtsystem Bahn zu erhöhen. Sie sollte dabei auch einen fairen Ausgleich zwischen sehr unterschiedlich verteilten Kosten und Nutzen schaffen und dabei einer großen Vielfalt von Fällen so gut es geht gerecht werden: Eine einzelne Dampflok – deren Halter mit ETCS & Co. wohl nur Kosten, jedoch keinen erkennbaren Nutzen hat – wird dabei beispielsweise anders zu behandeln sein als eine große Flotte von effizient in Serie ausgerüsteten Regionaltriebzügen, deren Betreiber



### Weitere Informationen

Die Ergebnisse der Evaluierung sind weitgehend unter <https://digitale-schiene-deutschland.de/Digitaler-Knoten-Stuttgart> veröffentlicht. Einzelne schutzbedürftige Informationen, insbesondere zu einigen Preisen und Strategien, sind davon ausgenommen. Ebenfalls bereitgestellt werden weitere immaterielle Ergebnisse der Förderung, beispielsweise der Innovationskooperation sowie ETCS-Bremsmodellparameter. (Stand aller Angaben: März 2023)

auch Nutzen der DSD-Ausrüstung erwarten kann. Zu weiteren möglichen Kriterien und den damit verbundenen technischen Anforderungen könnten beispielsweise auch Nutzen-Kosten-Erwägungen, Restnutzungsdauern und Einsatzgebiete zählen. Mögliche Begleitinstrumente der Förderung könnten u.a. staatliche Finanzierungsinstrumente, Netzzugangsbedingungen, Ausrüstungsverpflichtungen von Neufahrzeugen, Abwrackprämien für zu alte Baureihen sowie Anreize (wie reduzierte Trassenentgelte für Fahrzeuge mit vollständiger DSD-Fahrzeugausrüstung) sein. Doch selbst mit einer noch so passgenauen Förderung, Koordination und Rationalisierung bleiben die Herausforderungen für alle Beteiligten gewaltig: Dazu zählen ausreichend qualifiziertes Fachpersonal, Kapazitäten bei Ausrüstern und Werkstätten, zahlreiche organisatorische Schnittstellen (Abb. 4), (oft massive) Eingriffe in den laufenden Betrieb und

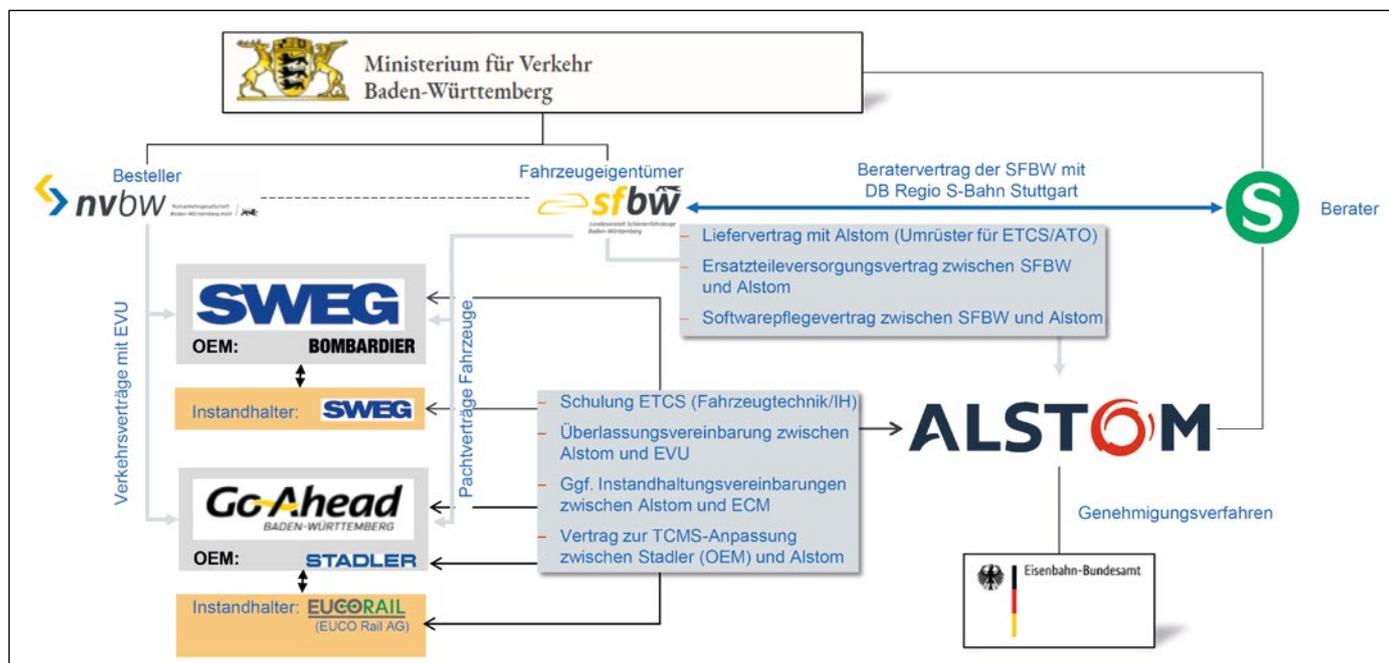


Abb. 4: Zentrale Koordinierung durch das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg am Beispiel der Regionaltriebzüge des Landes

Quelle: DB

Verkehrsverträge, aber auch die Bereitstellung von Ersatzfahrzeugen. Auch im Kompetenzaufbau, der Koordination zwischen vielen Beteiligten oder auch rechtlichen und technischen Weiterentwicklungen (wie die Digitale Automatische Kupplung) liegen wesentliche Herausforderungen. Die Förderung und Koordination der Fahrzeugrüstung ist insofern eine zentrale und notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für eine erfolgreiche Transformation zur „digitalen“ Eisenbahn, mit der tatsächlich nicht nur mehr Züge, sondern diese auch effizienter gefahren werden können. Ganz besonders wichtig sind auch ein verlässlicher „Roll-out-Plan“ der Infrastruktur, aber beispielsweise auch ein hohes Maß an Klarheit, Transparenz und Glaubwürdigkeit über die zu erwartenden Kosten und Nutzen. ■

Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union.



## QUELLEN

- [1] Beyer, M.; Blateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, DER EISENBANINGENIEUR 1/2023 (<https://bit.ly/3RceqFR>)
- [2] Fries, N.: Betrieblich-Technisches Zielbild für die „Digitale Schiene“, Deine Bahn 3/2021 (<https://bit.ly/3HC0fIs>)
- [3] Dietrich, F.; Erdmann, J.; Jost, M.; Raichle, F.; Sane, N.; Vogel, T.; Wagner, P.: Nachrüstung von 333 Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart, ZEVrail 5/2022 (<https://bit.ly/3DHZIOS>)
- [4] Druckenbrod, C.; Glass, T.; Klust, M.: Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBANINGENIEUR 2/2023
- [5] Hierzu folgt im EI 6/2023 ein vertiefender Artikel.
- [6] Dietrich, F.; Meyer, M.; Neuhäuser, R.; Rohr, F.; Vogel, F.; Wenkel, W.: Fahrzeugrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBANINGENIEUR 9/2021 (<https://bit.ly/3tFQWUB>)
- [7] Gesetz über die Feststellung des Bundeshaushaltsplans für das Haushaltsjahr 2023 (Haushaltsgesetz 2023) vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2485) (<https://bit.ly/3YmWu0>), PDF-Seite 2047
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung der Ausrüstung von Schienenfahrzeugen mit Komponenten des Europäischen Zugsicherungssystems ERTMS (European Rail Traffic Management System) und des automatisierten Bahnbetriebs (ATO) im Rahmen der infrastrukturseitigen Einführung von ERTMS im „Digitalen Knoten Stuttgart“, Bundesanzeiger, BAnz AT 05.02.2021 B2 (<https://bit.ly/3hX5Cjx>)
- [9] Flöter, F.; Raichle, F.; Höhne, T.; Köstlbacher, J.; Sane, N.; Sauer, M.; Schlichting, J.; Wagner, P.: Innovationskooperation Fahrzeugrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 9/2022, (<https://bit.ly/3dxDOZ6>)
- [10] Verband der Bahnindustrie in Deutschland: Die Zukunft der Schiene soll rasch beginnen. 28. April 2021 (<https://bit.ly/3jIMW57>)
- [11] DB Netz: DSD-Rollout – Fachliche Konsultation mit Marktteilnehmer:innen. Foliensatz vom 7. April 2022 (<https://bit.ly/3AQJdb8>), S. 15–17

- [12] McKinsey & Company: Machbarkeitsstudie zum Roll-out von ETCS/DSTW, Zusammenfassung der Ergebnisse. Dezember 2018 (<https://bit.ly/3r2qral>)
- [13] Böhm, M.; Paltian, A.; Schleede, M.; Voigt, B.; Winckler, M.: Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1), SIGNAL+DRAHT 4/2023
- [14] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonek, P.; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBANINGENIEUR 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>)
- [15] Vogel, T.; Reinhart, P.: Kleiner Aufwand: große Wirkung: Fahrzeugrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. Vortrag auf dem 22. SIGNAL+DRAHT-Kongress (<https://bit.ly/3F9Smht>), PDF-Seiten 15 ff.
- [16] Bitzer, F.; Blateau, V.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Neuhäuser, N.; Vogel, T.; Wurmthaler, J.: Quo vadis Digitale Leit- und Sicherungstechnik? DER EISENBANINGENIEUR 11/2021 (<https://bit.ly/3Hv72X6>)



### Frank Dietrich

Programmleiter  
Fahrzeugrüstung ETCS/ATO  
DB Regio AG, S-Bahn-Stuttgart,  
Plochingen  
[frank.f.dietrich@deutschebahn.com](mailto:frank.f.dietrich@deutschebahn.com)



### Lynn Molterer

Fahrzeugrüstung ETCS/ATO  
DB Regio AG, S-Bahn-Stuttgart,  
Plochingen  
[lynn.molterer@deutschebahn.com](mailto:lynn.molterer@deutschebahn.com)



### Frank Philippsen

Key Account On-board  
Digital & Integrated Systems  
Alstom Transport Deutschland GmbH,  
Berlin  
[frank.philippsen@alstomgroup.com](mailto:frank.philippsen@alstomgroup.com)



### Peter Reinhart

Mitarbeiter Gesamtprogrammleitung  
für den Digitalen Knoten Stuttgart  
Deutsche Bahn AG, Stuttgart  
[peter.reinhart@deutschebahn.com](mailto:peter.reinhart@deutschebahn.com)



### Christian Schunke-Mau

Sales & Tender Director  
Digital & Integrated Systems  
Alstom Transport Deutschland GmbH,  
Berlin  
[christian.schunke-mau@alstomgroup.com](mailto:christian.schunke-mau@alstomgroup.com)



### Thomas Vogel

Leiter Projektgruppe „Digitale Schiene“  
Ministerium für Verkehr  
Baden-Württemberg, Stuttgart  
[thomas.vogel@vm.bwl.de](mailto:thomas.vogel@vm.bwl.de)



### Hubertus Wester-Ebbinghaus

Business Development Manager  
Alstom Transport Deutschland GmbH,  
Berlin  
[hubertus.wester-ebbinghaus@alstomgroup.com](mailto:hubertus.wester-ebbinghaus@alstomgroup.com)

## DIGITALE FACHMEDIEN

### KOSTENLOS FÜR STUDENTEN

**Unverzichtbar  
im Studium**

**In wenigen Schritten zur  
erstklassigen Fachliteratur:**

- ▶ 1. Probeabonnement bestellen
- ▶ 2. Studienbescheinigung vorlegen
- ▶ 3. Sechs Monate vollumfänglich nutzen.  
Das Abonnement endet automatisch.

**Jetzt kostenlos anfordern:**  
[www.eurailpress.de/studentenangebot](http://www.eurailpress.de/studentenangebot)