

# Advanced Digital Infrastructure – betriebliche Szenarien für einen robusten Bahnbetrieb der Zukunft

Die Digitalisierung des Bahnsektors schreitet voran. Klar ist: Auch der Betrieb der Eisenbahn wird sich dadurch verändern. Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung des Bahnsystems müssen dabei an den betrieblichen Kernaufgaben und Anforderungen des operativen Geschäfts ausgerichtet werden. Eindeutig definierte Betriebsszenarien sind somit der Beginn einer erfolgreichen Systementwicklung.



## 1. Einleitung

Der Eisenbahnsektor ist bei der Integration neuer Technologien traditionell langsam. Um künftig ein attraktiveres Verkehrsangebot mit mehr Zügen in einer höheren Qualität auf dem Schienennetz bieten zu können, muss die Integration neuer, digitaler Technologien ins System Bahn deutlich beschleunigt werden. Dies ist eine zentrale Aufgabe der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland [1].

Dies geschieht in mehreren Stufen: Die derzeit laufende Umrüstung der Stellwerkstechnik auf Digitale Stellwerke (DSTW) und die Einführung des European Train Control System (ETCS) kann als Basis-Digitalisierung bezeichnet werden.

Ein erheblicher Hub auf die Kapazität, Zuverlässigkeit und Demografiefestigkeit wird von den weiteren Entwicklungsschritten wie einem intelligenten Kapazitäts-

und Verkehrsmanagementsystem (Capacity and Traffic Management System – CTMS) [2], dem automatischen Fahren (Automatic Train Operation – ATO) und eines integrierten Systems der Leit- und Sicherungstechnik mit einer zugorientierten Sicherungslogik [3] als Nachfolger der bisher getrennten Komponenten Stellwerk und streckenseitige Zugsicherung erwartet.

Diese neue Sicherungslogik ist das Ergebnis umfassender Analysen, die im Schweizer Programm SmartRail 4.0 [4] ihren Anfang nahmen und in der europäischen Initiative Reference CCS Architecture (RCA) [5] ihre Fortsetzung fanden. Zuletzt wurde durch die DB InfraGO gemeinsam mit Partnern aus dem Sektor eine umfangreiche Studie zur Identifikation von Umsetzungsschwerpunkten für ein Erstinbetriebnahmeprojekt erstellt (siehe Bild 1).

Die neue Sicherungslogik wird als Advanced Protection System (APS) bezeichnet.



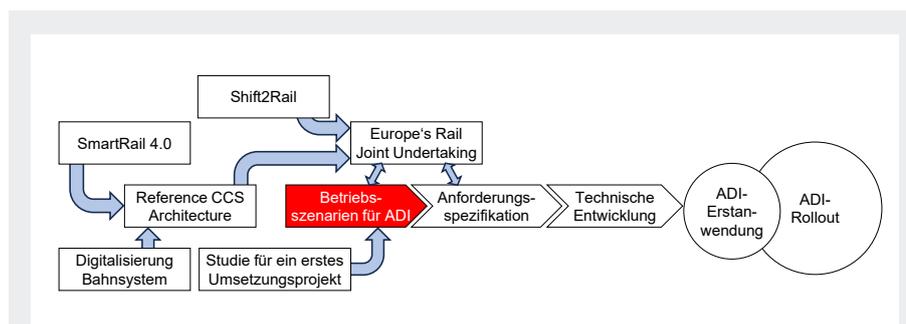
**Jens Leuteritz, M. A.**  
 Experte Digitaler Bahnbetrieb, Digitale Schiene Deutschland, DB InfraGO AG, Berlin  
 jens.leuteritz@deutschebahn.com



**Dipl.-Ing. Frank Schiffmann**  
 Experte Systems und Safety Engineering LST, SIGNON Deutschland GmbH, Dresden  
 frank.schiffmann@signon-group.com

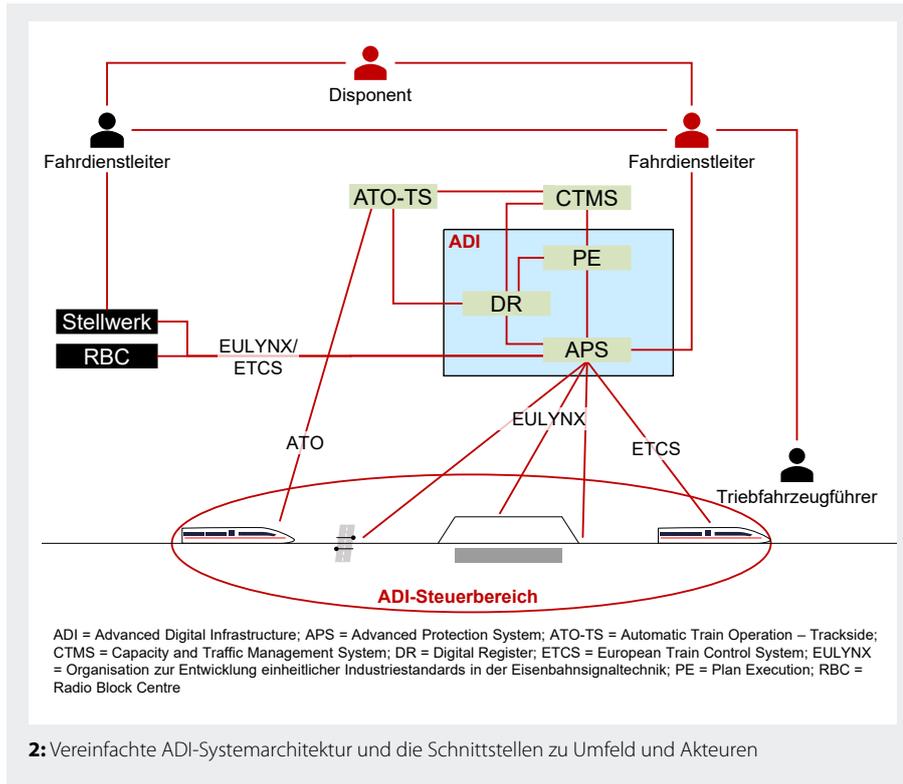


**Philipp Schneider, M. Sc.**  
 Experte Digitaler Bahnbetrieb, Digitale Schiene Deutschland, DB InfraGO AG, Berlin  
 philipp.p.schneider@deutschebahn.com



1: Herkunft und künftiger Entwicklungspfad von ADI (Advanced Digital Infrastructure) Quelle: DB InfraGO

net. Der Mehrwert von APS kommt aber erst im Verbund mit anderen Systemen vollends zur Geltung. Daher bündelt die Digitale Schiene Deutschland die verschiedenen Funktionen im Gesamtkonzept Advanced Digital Infrastructure (ADI). Seit 2023 werden bei der DB InfraGO die relevanten betrieblichen Szenarien für ADI definiert. Dieser Schritt bildet den Schwerpunkt des Artikels. Im Folgenden werden die Bestandteile von ADI beschrieben.



**2. Advanced Digital Infrastructure (ADI)**

Außer APS zählen zu ADI (siehe Bild 2): das Digitale Register (DR) als zentrale Quelle für Anwendungsdaten sowie die Plan Execution (PE) als intelligentes Ansteuerungssystem und Brücke zu CTMS. ADI nutzt dabei verschiedene standardisierte Schnittstellen zu Umsystemen wie bspw. Weichen (EULYNX-Vorgaben [6]) und macht auch die Nutzung von ATO möglich. Es stellt somit einen weiteren Schritt zur Entwicklung einer integrierten, vollständigen, standardisierten und europäisch gedachten Betriebssteuerungs- und Sicherungstechnik dar.

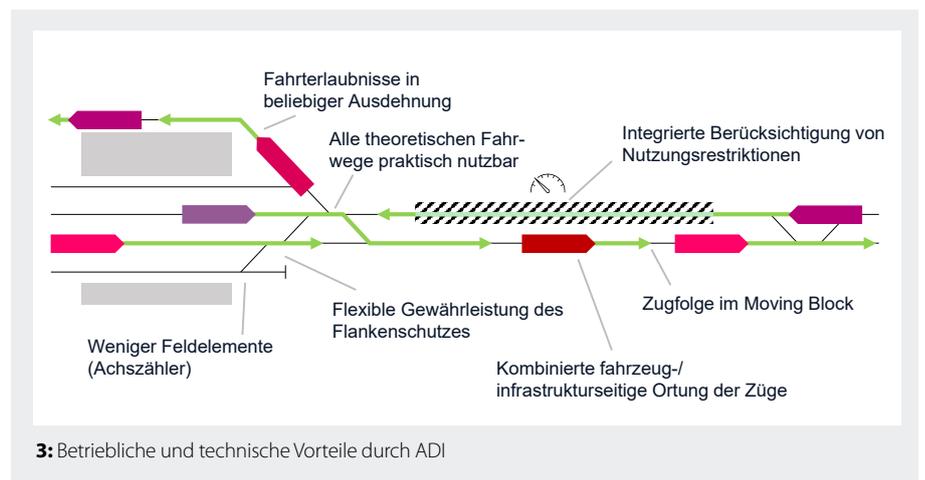
Wie in Bild 3 dargestellt, bringt ADI eine Vielzahl betrieblicher Vorteile mit sich. Ergänzend dazu ergeben sich folgende positive Merkmale aus systemischer Sicht:

- Geringere Planungsaufwände durch eine neue generische Sicherungslogik unter Anwendung von standardisierten Objektdefinitionen (z. B. für Weichen) für alle weiteren Systeme
- Schlanke und verteilte Architektur durch Trennung von Betriebssteuerungs- und Sicherungsebene
- Einfache und schnelle Anpassung bei Baumaßnahmen

**3. Betriebsszenarien**

Um zu einer technischen Spezifikation zu gelangen, ist die Definition der betrieblichen Anwendungsfälle – der Betriebsszenarien – eine wesentliche Grundlage. Ein erstes Ziel der Digitalen Schiene Deutschland ist zunächst die Implementierung in einem Umsetzungsprojekt.

Der Erstellung der Betriebsszenarien ging eine Analyse relevanter Prozesse sowohl aus der erwähnten Studie als auch von anderen europäischen Eisenbahninfrastrukturunternehmen voraus. So sollen



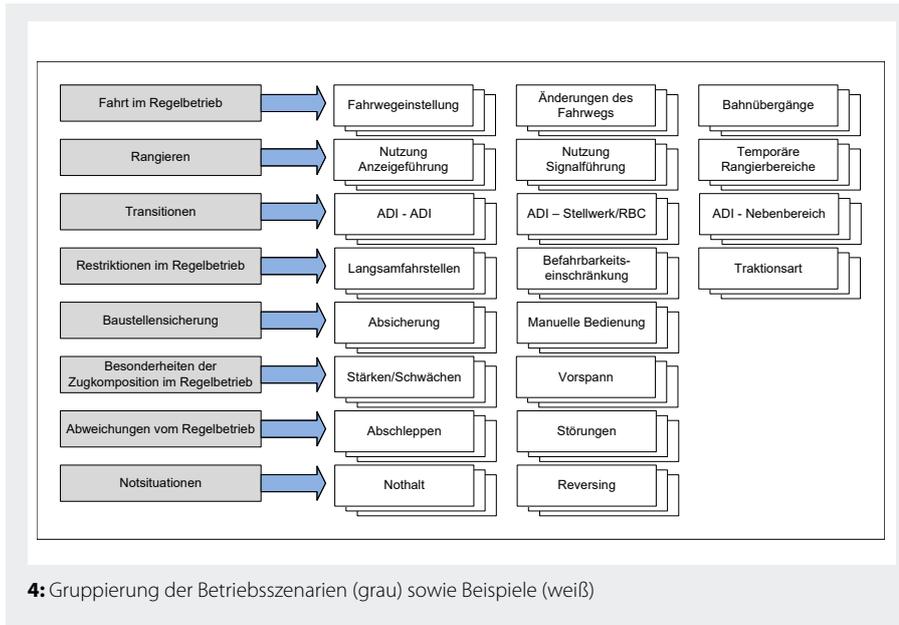
Potenziale gehoben werden, indem Betriebsweisen ermöglicht werden können, die bisher bei der DB InfraGO nicht vorhanden sind.

Im Rahmen der Studie wurde der heutige Bahnbetrieb, ohne den Anteil der Betriebsplanung und Disposition (Fokus CTMS), in einzelne bahnbetriebliche Prozesse zerlegt und in Themenbereiche gruppiert, wie Bild 4 zeigt.

In der Folge wurden insbesondere die operativen Szenarien von BaneNor und Banedanmark zur Einführung von ETCS L2 untersucht, die sich unter den Gesichtspunkten Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit und Ausnutzung der ETCS-Funktionen als die wertvollsten erwiesen, um auf ihrer Basis den Betrachtungshorizont um ADI-Spezifika zu erweitern. Zusätzlich wurden auch die ETCS-Szenarien der SBB und der ÖBB berücksichtigt.

Ein Beispiel für Erfahrungen aus dem Ausland, die konkret in die betrieblichen Szenarien Eingang gefunden haben, ist der Umgang mit Handheld-Terminals in Norwegen und Dänemark. Mit diesen wird eine Informationsübermittlung zwischen den Personalen am Gleis und dem Stellwerk ermöglicht; dies kann zu einem Sicherheitsgewinn führen sowie perspektivisch den Baubetrieb durch einen Zugriff auf Feldelemente für Mitarbeitende am Gleis vereinfachen.

Für das Aufsetzen erster Betriebsszenarien für ADI wurde außerdem ein Abgleich mit der Struktur der neuen Richtlinie 400 für den digitalen Bahnbetrieb [7] durchgeführt und ferner die Anforderungen aus dem Betrieblichen Zielbild (BZB) Version 1.2 [8] analysiert. Hinsichtlich des BZB konnten entweder gleich- oder höherwertige Lösungen für die Umsetzung gefunden



inhalten somit Abläufe, die schon bei der ersten Implementierung notwendig sind, aber auch Anforderungen, die im späteren generischen Roll-out erforderlich werden. Beispielsweise muss beachtet werden, dass durch den erwarteten technischen Ausrüstungsstandard der Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Erstanwendung die Gewährleistung der Information der sicheren Zuglänge und Zugintegrität durch den Zug nicht zwingend vorausgesetzt werden können. Es muss also, wenn auch reduziert, eine Zugortung mit Achszählern vorhanden sein. Die Betriebsszenarien und das Verhalten seitens APS müssen dem Rechnung tragen.

Bei der Konzeption der Betriebsszenarien erwies sich als Vorteil, dass die notwendigen Bedienhandlungen mit erfasst wurden. So ergaben sich aus den Flussdiagrammen mitunter keine bis nur sehr wenige manuelle Mitwirkungen seitens des Fahrdienstleiters oder Triebfahrzeugführers. Gerade im Störfall wird dadurch die Betriebsqualität einen deutlichen Hub erfahren, da manuelle Eingriffe nach und nach durch (teil-)automatisierte Lösungen ersetzt werden. Grundlage hierfür bildet die Einführung eines CTMS. Dies wird in Zukunft helfen, in angespannten Betriebs-situationen den Überblick zu behalten und gleichzeitig den Betrieb effizient und betriebssicher weiterzuführen.

den werden. Aufgrund des abweichenden Systemansatzes von ADI sind jedoch nicht alle Anforderungen des BZB für die Entwicklung von ADI relevant.

Im nächsten Schritt wurde eine Mustervorlage konzipiert, nach der jedes Betriebsszenario entwickelt wird. Sie besteht aus der Definition von Zielsetzung, Anfangszustand, einem Topologie-Beispiel, einem Ablaufdiagramm sowie einem Endzustand und inhaltspezifischen Kommentaren. Über eine einheitliche Zeichenbibliothek erhalten die Ablaufdiagramme und Grafiken ein stringentes Muster. Somit können aus ihnen im Rahmen der Anforderungsspezifikation, dem nächsten Arbeitsschritt der ADI-Entwicklung, einfacher funktionale Systemanforderungen an die ADI-Systeme hergeleitet werden.

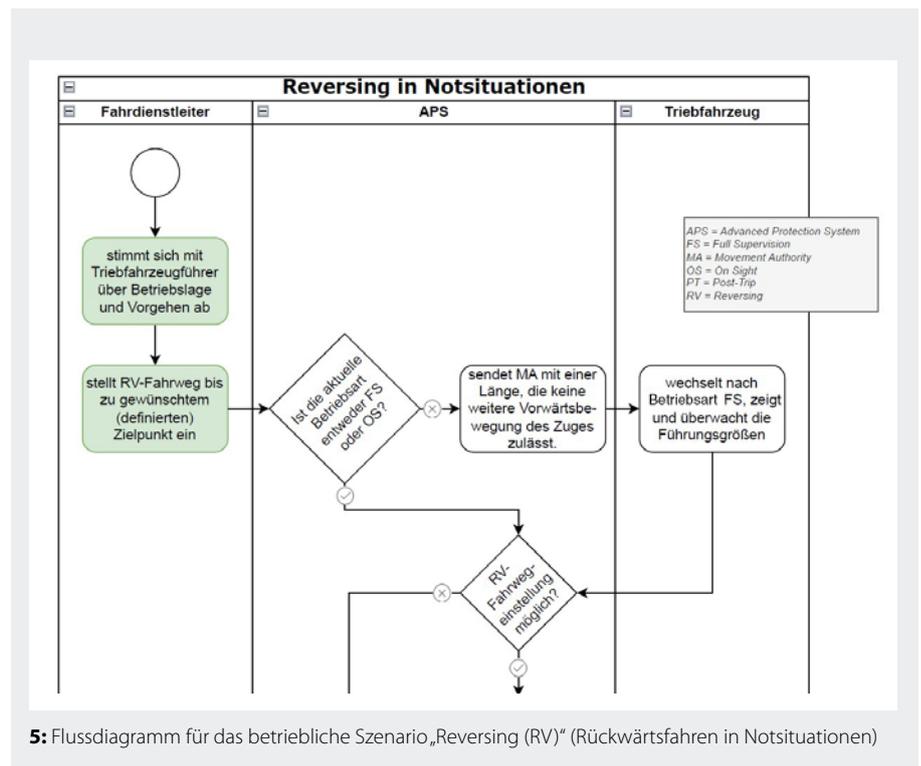
Bild 5 und Bild 6 veranschaulichen ausschnittsweise die Darstellung eines betrieblichen Szenarios am Beispiel des Rückwärtsfahrens ohne Führerstandswechsel in Notsituationen mit der ETCS-Betriebsart „Reversing“.

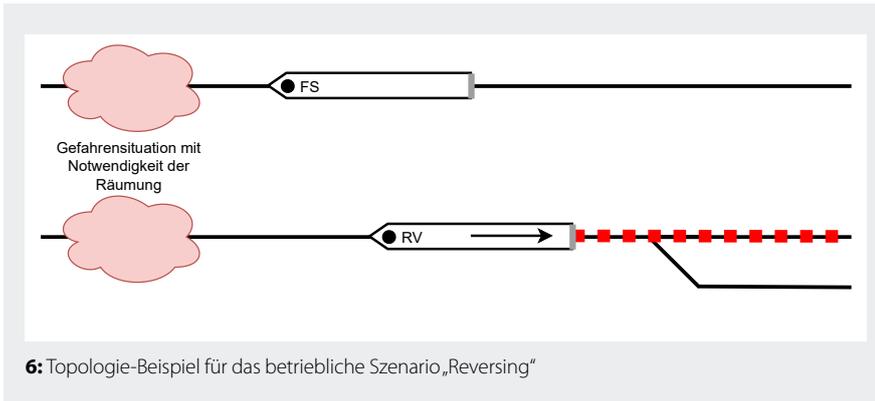
Während der Szenarienerstellung erfolgte regelmäßig ein internes Review durch Experten, die die Entwicklung bspw. im RCA-Rahmen schon lange vorantreiben sowie durch Mitarbeiter des zentralen Betriebes der DB InfraGO.

Parallel zur Ausarbeitung der einzelnen Themengebiete arbeiten die Ersteller außerdem im Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU) System Pillar an der europäischen Harmonisierung betrieblicher Szenarien mit. Aufgrund dieser Zusammenarbeit können

ADI-Themen somit auch parallel in Europa gespiegelt werden und Harmonisierungsvorschläge bzgl. Digitalisierung der LST aus dem ADI-Themenfeld eingebracht werden [9].

Eine besondere Herausforderung bei der Berücksichtigung der Betriebsfälle stellte der Umstand dar, dass zunächst ein Erstinbetriebnahmeprojekt im Fokus steht, aber die Szenarien bereits den vollen Funktionsumfang beschreiben sollen. Dies be-

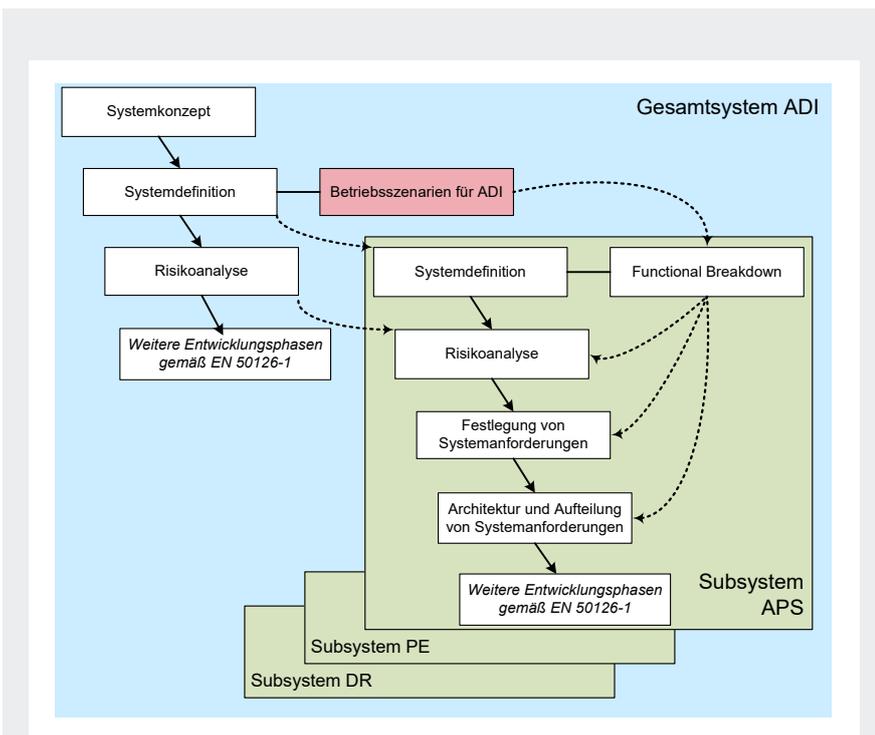




#### 4. Einbettung der Betriebsszenarien in die Systementwicklung von ADI

Die Betriebsszenarien sind eine wichtige Grundlage zur Detaillierung der Anforderungen für die Entwicklung von ADI. Bild 7 zeigt, dass zur Abdeckung der Anforderungen aus den Lebenszyklusphasen 1 und 2 gemäß EN 50126-1 [10] für ADI die Erstellung eines Systemkonzepts mit Beschreibung des betrieblichen Kontexts und einer Systemdefinition erfolgte. Die Betriebsszenarien bilden dabei eine Ergänzung der Systemdefinition, um hier die Betriebsanforderungen und -verfahren hinreichend genau in den ersten Systementwicklungsschritten zu skizzieren.

Die Betriebsszenarien ermöglichen folgend die Zuordnung von Funktionsanforderungen an die einzelnen Sub- und Umsysteme von ADI. Als Zwischenschritt zur Festlegung dieser Anforderungen werden „Functional Breakdowns“ erstellt. Diese sind Ableitungen von Funktionen unmittelbar aus den Betriebsszenarien, die dann in einem hohen Detailgrad die Systemdefinitionen der einzelnen Subsysteme ergänzen. Dieser Schritt wird zunächst für APS pilotiert, um insbesondere durch die Summe aus diesen Funktionen und den Betriebsszenarien eine Grundlage für regelmäßige Abstimmungen mit allen Beteiligten im Rahmen der frühen Systementwicklungsphase zu ermöglichen.



**INNOVATIV.  
INFORMIERT.  
INSPIRIEREND.**

Schalten Sie jetzt durch – bringen Sie Ihre Botschaft auf die Schiene!

#### Unsere Messeausgaben:

- ETR 9/2024 deutschsprachig, Anzeigenschluss: 13.8.2024
- ETR international edition englischsprachig, Anzeigenschluss: 12.8.2024

**Besuchen Sie uns in Halle 4.2 | 115**

Ihr Ansprechpartner:  
**Tim Feindt**  
tim.feindt@dvvmedia.com  
+49 40 237 14 220



Eine wesentliche Grundlage der Entwicklung bilden die Erkenntnisse aus dem RCA-Konsortium [5]. Die Betriebsszenarien sind dabei die Klammer für ADI und werden in der Zukunft schrittweise durch die Erkenntnisse der Systementwicklung ergänzt.

Resultierend werden damit auch neue bzw. geänderte betriebliche Regelungen für Infrastrukturbetreiber und Verkehrsunternehmen im Kontext von ADI ermöglicht.

### 5. Verknüpfung mit anderen Aktivitäten

Die Erstellung der Betriebsszenarien erfordert die Verknüpfung mit weiteren Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene, um von bewährten Implementierungen zu lernen und keine betrieblichen Sonderwege einzuschlagen.

Um zu einer möglichst weit harmonisierten und standardisierten europäischen Lösung zu kommen, werden technische Konzepte im Rahmen des ERJU erarbeitet. Da ADI zunächst in einem bestehenden Umfeld bei der DB InfraGO realisiert werden soll und daher Bestandssysteme angeschlossen werden müssen, existieren noch Differenzen zu einem Zielsystem. Dennoch sind alle Funktionen und die Betriebsweisen auf diesen Zielzustand auszulegen, um spätere Anpassungen zu vermeiden.

Wesentliche Aspekte im Rahmen von ERJU als Grundlage für integrierte Systemansätze wie ADI sind:

- Europäische Nutzbarkeit des „Baukastens“ ETCS
- Erweiterung der Basisharmonisierung der Betriebsweisen gemäß den verbindlichen Vorgaben der TSI OPE [11] als Schnittstelle zwischen Technik und den beteiligten Rollen und Gewährleistung einer universellen Umsetzung in den Mitgliedsstaaten
- Ableitung von Bedarfen zur Weiterentwicklung bestehender Systeme wie ETCS

Wie bereits oben erwähnt, bestehen auf nationaler Ebene weitere Verknüpfungspunkte mit der Ausgestaltung und Umsetzung der Betrieblichen Vision und des Betrieblichen Zielbilds der DB InfraGO. Die darin enthaltenen Vorgaben müssen bei der Entwicklung von ADI berücksichtigt werden.

Zudem können auch die Ergebnisse von ADI direkt in der Ausgestaltung und Umsetzung dieser Vorgaben einfließen. Zur Umsetzung neuer Regelungen der Betriebsführung für den Digitalen Bahnbe-

trieb wird die Erstellung und Umsetzung der Richtlinie 400 als neue Fahrdienstvorschrift verfolgt. Neben der Realisierung der ersten Versionen der Richtlinie wird die Betriebsweise in Workshops (Serious Gaming) auch mit anderen europäischen Bahnen erprobt. Für ADI sind die so gewonnenen Informationen eine weitere Datenbasis für die Systementwicklung.

### 6. Herausforderungen und Ausblick

Auch in Zeiten knapper Ressourcen finden umfangreiche, parallel laufende Entwicklungsleistungen im Rahmen der Digitalen Leit- und Sicherheitstechnik statt. Die Festlegung der Prioritäten und die schrittweise, aber effiziente Erreichung eines wirklichen Zielbilds mit gesamthaft neuen Anforderungen bleibt dabei eine Herausforderung. So müssen heute für Pilotierungen hinreichend einfache Implementierungen zur Adaption vorhandener Umsysteme stattfinden, obwohl diese in der finalen Zielarchitektur am Ende keine Rolle mehr spielen.

Für die Grundlage des vorgesehenen Betriebs sind hier umfangreiche Abstimmungen unter Beachtung verschiedener Entwicklungsstufen der einzelnen Projekte erforderlich. Dies umfasst auch die sinnvolle Festlegung des Funktionsumfangs von ADI für eine erstmalige Umsetzung. Allein der Ersatz der Systeme Stellwerk und streckenseitige Zugsicherung reicht nicht, um sinnvolle betriebliche Effekte zu erreichen. Daher müssen die betrieblichen Szenarien ganzheitlich gedacht werden, um messbare Verbesserungen zu erzielen.

Ausgehend von den Betriebsszenarien muss während der Systementwicklung der Detailgrad der technischen Prozesse erhöht werden. Dies dient dann auch als Grundlage für spätere Systemtests und die Prozesse und Regeln der Betriebsführung. Parallel findet der Abgleich mit den Arbeitsergebnissen auf europäischer Ebene statt. Dabei dürfen keine Denkverbote bestehen und keine Lösungen manifestiert werden, die eine einfache Mikrooptimierung von Sachverhalten in der heutigen Systemwelt darstellen.

Das Ziel seitens ADI besteht darin, bis Ende 2024 das erste Set der Betriebsszenarien verfügbar zu haben. Dies umfasst ebenfalls eine initiale Festlegung der relevanten Betriebsszenarien für erste Implementierungsprojekte als Systementwicklungsgrundlage. ●

### Literatur

[1] Fiack, Achim; Weller, Franziska; Heimes, Moritz; Laux, Thomas: Digitale Schiene Deutschland – Zukunftstechnologien für das Bahnsystem. In: Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024, S. 198-208. [https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/189\\_208\\_Fiack\\_et\\_al.pdf](https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/189_208_Fiack_et_al.pdf)

[2] Küpper, Michael: Das Capacity & Traffic Management System für die Digitale Schiene. In: Der Eisenbahningenieur 10/2023, S. 60-64. [https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2310\\_El\\_Artikel\\_CTMS\\_K%C3%BCpper.pdf](https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/2310_El_Artikel_CTMS_K%C3%BCpper.pdf)

[3] Skowron, Frank; Treydel, Roman: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST. In: Der Eisenbahningenieur 11/2022, S. 34-37. [https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/34\\_39\\_Skowron\\_Treydel\\_neu.pdf](https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/34_39_Skowron_Treydel_neu.pdf)

[4] Schmidt, Steffen; Grabowski, David: Das „ETCS-Stellwerk“. In: Signal+Draht 10/2018, S. 29-39.

[5] Reference CCS Architecture (an initiative of the ERTMS Users Group and EULYNX Consortium), Baseline 1 Release 0, Zugriff über <https://3.basecamp.com/4168621/buckets/10801981/vaults/5370714746>

[6] EULYNX Initiative: EULYNX Concept, Baseline Set 4 Release 2, Zugriff über <https://eulynx.eu/resource-hub-documents/?ee=1&eeFolder=General-Documents%2FBaseline-set-4-Release-2&eeListID=1>

[7] Altmann, Stephan; Cichos, Moritz; Kopitzki, Matthias: Anwendung der Fahrdienstvorschrift für den digitalen Bahnbetrieb. In: Deine Bahn 10/2023, S. 18-25.

[8] Menne, Dirk; Kopitzki, Matthias; Nenke, Thomas; Möller, Phillip; Braun, Wolfgang: Das Betriebliche Zielbild als Basis für ein modernes und anwenderfreundliches Regelwerk. In: Deine Bahn 10/2021, S. 6-11. <https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/DeiBa-10-2021-Online-06-5B.pdf>

[9] Ried, Werner: Harmonisch durch Europa. In: Deine Bahn 3/2024, S. 6-13. <https://www.digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/HarmonischDurchEuropa-RiedDeiBa-03-2024-6-5B.pdf>

[10] Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) – Teil 1: Generischer RAMS-Prozess; Deutsche Fassung EN 50126-1:2017.

[11] Durchführungsverordnung (EU) 2019/773 der Kommission vom 16. Mai 2019 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.

### Summary

#### Advanced Digital Infrastructure - operational scenarios for robust railway operations of the future

With the ADI system development, Digitale Schiene Deutschland is planning a revolutionary development step in control and safety technology. The technical development goes hand in hand with a change in operational processes. To this end, operational scenarios are being defined, which are an essential starting point for system development and will be coordinated with European harmonisation efforts from the outset. The aim is to finalise the first set of scenarios by the end of 2024.