McKinsey&Company

Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW

Zusammenfassung der Ergebnisse

Dezember 2018

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis 4

Auftrag an McKinsey und Aufbau dieses Abschlussberichts 5

Einführung 6

1. Technisches Zielbild für die Ausrüstung des deutschen Eisenbahnsektors mit ETCS und digitaler Stellwerkstechnologie 8

1.1. Ausgangslage und Beschreibung der zum Einsatz kommenden Technologien 8

1.2. Anforderungen an die Technik 9

1.3. Technisches Zielbild 10

2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des beschleunigten Rollouts im Vergleich zu einem Referenzszenario der sukzessiven Ausrüstung 13

2.1. Methodik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 13

2.2. Kosten- und Nutzenfaktoren 14

2.3. Referenzszenario 15

2.4. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 16

3. Festlegung der industrialisierten Rolloutstrategie inklusive der Startphase 19

3.1. Strategische Rolloutplanung 19

3.2. Kontinuierliche Weiterentwicklung des technischen Zielbilds 21

4. Entwicklung möglicher Finanzierungsmodelle und eines Finanzzielbilds für die Umsetzung 23

4.1. Gesamtinvestitionsbedarf und Abschätzung des zusätzlichen Mittelbedarfes 23

4.2. Infrastrukturfinanzierung 24

4.3. Fahrzeugfinanzierung 25

5. Prozessuale und organisatorische Rahmenbedingungen 27

5.1. Effizienzhebel für einen industrialisierten Rollout 27

5.2. Risikomanagement 28

5.3. Organisatorische Aufstellung für den Rollout 29

6. Verfügbarkeit von Personal/Kompetenzen und Material 30

6.1. Personalressourcen 30

6.2. Industriekapazitäten 31

6.3. Technische Testkapazitäten 32

Anhang 1 – Starterpaket 33

Anhang 2 – Karten zum Rolloutplan 34

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
ATO	Automatic Train Operation
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BUV	Bedarfsplan-Umsetzungsvereinbarung
DSTW	Digitales Stellwerk
EBA	Eisenbahnbundesamt
EDP	European Deployment Plan
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ETCS	European Train Control System
ERTMS	European Rail Traffic Management System
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LuFV	Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
NeuPro	Neue Produktion der DB Netz AG
OBU	On-Board-Unit
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
RSTW	Relaisstellwerk
SGV	Schienengüterverkehr
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
STE	Stelleinheit
TEN	Transeuropäische Netze
TSO	Technischer Standort

Auftrag an McKinsey und Aufbau dieses Abschlussberichts

Auftrag an McKinsey

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat McKinsey im Juli 2017 beauftragt, eine Machbarkeitsstudie zum flächendeckenden Rollout von „ETCS/DSTW“ durchzuführen. Der Auftrag umfasst sechs Arbeitspakete (AP):

- Validierung des Business Case der Deutschen Bahn (DB) zum Rollout von ETCS/DSTW (AP 1)
- Weiterentwicklung des Business Case der DB und Erarbeitung eines strategischen Rolloutplans (AP 2)
- Erstellung des technischen Zielbilds von Infrastruktur und Fahrzeugen (AP 3)
- Erarbeitung möglicher Finanzierungsmodelle und eines Finanzzielbilds für die Umsetzung (AP 4)
- Definition und Aufbau der notwendigen Organisation, allgemeinen Rahmenbedingungen und Prozesse für eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts (AP 5)
- Überprüfung der Verfügbarkeit von Personal/Kompetenzen und Material entsprechend der strategischen Rolloutplanung (AP 6)

Aufbau dieses Abschlussberichts

Zum besseren Verständnis der inhaltlichen Zusammenhänge, der Vermeidung von vielen Querverweisen und der einfacheren Lesbarkeit ist dieser Abschlussbericht entlang folgender Struktur aufgebaut:

1. Technisches Zielbild für die Ausrüstung des deutschen Eisenbahnsektors mit ETCS und digitaler Stellwerkstechnologie
2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des beschleunigten Rollouts im Vergleich zu einem Referenzszenario der sukzessiven Ausrüstung
3. Festlegung der industrialisierten Rolloutstrategie inklusive der Startphase
4. Entwicklung möglicher Finanzierungsmodelle und eines Finanzzielbilds für die Umsetzung
5. Prozessuale und organisatorische Rahmenbedingungen
6. Verfügbarkeit von Personal/Kompetenzen und Material

Einführung

Deutschland verfügt heute über eine leistungsfähige und effektive Zugsicherung. Diese umfasst die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) und zusätzlich die linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) für Fahrten über 160 km/h oder bei dichter Zugfolge.

Die LZB ist ab 2030 abgekündigt und wird perspektivisch nicht mehr unterstützt. Zudem gibt es in den europäischen Staaten sehr heterogene Zugsicherungssysteme. Dies beeinträchtigt die Wettbewerbsfähigkeit des Schienensektors gegenüber anderen Transportarten. So muss ein Zug für den grenzüberschreitenden Verkehr mit allen Sicherungssystemen der zu durchfahrenden Länder ausgestattet und dafür jeweils zugelassen sein. Ist das nicht der Fall, muss die Lokomotive an der Grenze getauscht werden.

Um die Schiene als Verkehrsträger attraktiver zu machen sowie Personen und Güter effizient und sicher durch Europa transportieren zu können, hat die Europäische Union das European Train Control System (ETCS) als Referenzstandard festgelegt. Dieses europaweit einheitliche Zugsicherungssystem wird derzeit in zwei so genannten Levels eingesetzt: Level 1 (Limited Supervision)[1] und Level 2.[2] Die EU gibt auf Basis der EU-Verordnung 2017/6 vor, bis 2023 einen Teil ihrer TEN-Korridore mit ETCS (Level 1 oder Level 2) auszustatten. Darüber hinaus wird angestrebt, dass bis 2030 die TEN-Kernkorridore komplett und bis 2050 das gesamte deutsche TEN-Streckennetz ausgerüstet sind.[3] Das entspricht rund 17.000 von insgesamt 33.000 Streckenkilometern in Deutschland.

Die Umsetzungsvariante ETCS Level 2 ohne Signale[4] kann hierbei auch als Nachfolger der LZB dienen. Allerdings werden für ETCS Level 2 elektronische oder digitale Stellwerke (DSTW) benötigt, die heute nicht flächendeckend vorhanden sind. Vielmehr sind in Deutschland in der Leit- und Sicherungstechnik (LST) und der Stellwerkstechnik verschiedene Technologien im Einsatz – die Spannweite reicht von rund 100 Jahre alten mechanischen über elektromechanische Stellwerke und Relaisstellwerke bis zu elektronischen Stellwerken. Viele dieser Systeme verursachen durch ihr Alter und ihre mangelnde Standardisierung erhebliche Betriebs- und Instandhaltungskosten, u.a., weil für verschiedenste Bautypen, Bauserien und Baujahre Ersatzteile und Knowhow vorgehalten werden müssen. Sie werden derzeit entsprechend ihres technischen Zustands sukzessive erneuert.

1 Im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit ausschließlich von „ETCS Level 1“ gesprochen.

2 ETCS Level 3 wird derzeit entwickelt.

3 Unter Maßgabe des vorliegenden Haushalts- und Wirtschaftlichkeitsvorbehalts.

4 Im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit ausschließlich von „ETCS Level 2“ gesprochen.

Vor diesem Hintergrund geschieht eine Verknüpfung des Rollouts von ETCS Level 2 mit der Einführung der digitalen Stellwerkstechnologie. Damit kommt es zu einer flächendeckenden und beschleunigten Erneuerung der gesamten Leit- und Sicherungstechnik. Insgesamt lassen sich mit einem solchen Projekt eine Reihe von Vorteilen realisieren, darunter:

- **Modernisierung der Eisenbahn.** Aktualisierung und Vereinheitlichung der Stellwerkstechnologie sowie Steigerung der Qualität (Erhöhung von Verfügbarkeit und Pünktlichkeit)
- **Erhöhung der Kapazität auf der Schiene.** Möglichkeit zu Verlagerung von Verkehr von der Straße
- **Erhöhung der Energieeffizienz.** Verringerte CO2-Emissionen im deutschen Verkehrssektor und damit Erbringung eines Klimabeitrages für den Verkehrssektor
- **Senkung der Betriebskosten.** Einsparungen bei Re-Invest, Instandhaltung und Betrieb (insbesondere durch geringeren Nachbesetzungsbedarf bei Instandhaltungspersonal und Fahrdienstleitern)
- **Gewährleistung der Demografiefestigkeit des Bahnbetriebs.** Bewältigung der alters- und fluktuationsbedingen Verringerung der Zahl der Weichenwärter und des Stellwerkpersonals
- **Bereitstellung der Basis für weiter gehende Digitalisierung.** Neben anderem Vorbereitung für Automatic Train Operation (ATO) durch ETCS Level 2
- **Beitrag zur Schaffung eines durchgängigen europäischen Verkehrsraums.** Ablösung der nationalen Technik durch einen einheitlichen Standard

Da aus diesen Effekten ein wirtschaftlich positiver Gesamtnutzen entsteht, der sich auch gegenüber Alternativen positiv abhebt, empfiehlt McKinsey, mit dem flächendeckenden Rollout von ETCS/DSTW kurzfristig zu beginnen.

1. Technisches Zielbild für die Ausrüstung des deutschen Eisenbahnsektors mit ETCS und digitaler Stellwerkstechnologie

1.1. Ausgangslage und Beschreibung der zum Einsatz kommenden Technologien

DSTW

Die DB Netz AG betreibt heute ca. 3.500 Stellwerke, die der Kern der Leit- und Sicherungstechnik des Eisenbahnbetriebs sind. In den Stellwerken werden Informationen über die Belegung der Strecke mit Definition von Fahrwegen über Weichen und der Übermittlung eines Fahrbegriffs (Signal) verbunden. Die Verbindung mit einer Zugbeeinflussung, die bei einer Nichtbeachtung des übermittelten Fahrbegriffs – zum Beispiel Überfahren eines Rotsignals – eine Zwangsbremsung des Zuges auslöst, garantiert einen sicheren Bahnbetrieb.

Derzeit sind Stellwerke aus 100 Jahren im Bereich der deutschen Bahn im Einsatz. Diese sind jeweils mit proprietärer Technik der einzelnen Hersteller entwickelt, was die Gesamtversorgung mit Ersatzteilen, die Wartung und Instandhaltung sowie ggf. auch die Aktualisierung hochkomplex und teuer macht. Zudem sind viele der Stellwerke noch mechanisch, elektromechanisch oder relaisbasiert, so dass sie sich nur sehr schwer oder gar nicht fernsteuern lassen und daher einen hohen dezentralen Personaleinsatz erfordern.

Seit den späten 1980er Jahren werden Altstellwerke durch elektronische Stellwerke ersetzt, um abgängige Stellwerke auszutauschen und die stark gestiegenen Verkehre auf dem Streckennetz mit einem vertretbaren Personalaufwand bedienen zu können. Auch diese Stellwerke sind proprietäre Technik und erfordern spezifische Hardware, die inzwischen häufig nicht mehr verfügbar ist.

Im Zuge der Weiterentwicklung werden derzeit digitale Stellwerke pilotiert, die gegenüber der herkömmlichen Technik mehrere Vorteile bieten:

- Die Intelligenz liegt in der Software, so dass die Aktualisierungen einfacher vorzunehmen sind und die Hardware standardisierbar wird.
- Die Übermittlung der Information erfolgt getrennt von der Stromversorgung der Außenelemente. Dadurch sind deutlich weitere Strecken überbrückbar als mit der alten Technik, in der im Stellwerk geschaltet wurde und die Länge der Leitung zum Außenelement durch den elektrischen Widerstand begrenzt war.
- Die Stellwerke sind „virtualisierbar“ und „fernsteuerbar“, d.h., sie sind nicht mehr ortsgebunden in der Nähe der Gleise, sondern können effizienter, sicherer und verlässlicher an geeigneten Standorten gebaut werden. Sie sind vergleichbar mit anderen Rechenzentren.

Derzeit werden in Deutschland fünf DSTW im Rahmen von Pilotprojekten geplant und gebaut. Es liegen daher noch keine Ergebnisse, Erfahrungen oder eindeutige Spezifikationen der Außenschnittstellen vor. Diese fünf Vorserienprojekte für digitale Stellwerke sind: Harz-Weser-Netz Braunschweig Süd, Harz-Weser-Netz Südharz, Warnemünde, Meitingen/Mertingen sowie Trier-Koblenz. Ihre Inbetriebnahme ist für 2019 bzw. 2020 vorgesehen. Auch aus dem Ausland gibt es noch keine relevante Betriebserfahrung.

ETCS

ETCS wurde von der Europäischen Union bereits im Jahr 1996 bzw. 2001 als neuer Standard der Zugsicherung definiert[5] und hat mehrere Entwicklungsstufen durchlaufen: so genannte Baselines (2.0, 2.2.2, 2.3.0d, 3.4, 3.6) – dabei sind die operativen Erfahrungen mit ETCS durchweg sehr positiv, Kernkritikpunkte der Schienennetzbetreiber sind die bislang mangelnde Stabilität der Baseline und die hohen Nachrüstkosten.

Aufgrund der Vorgaben der Europäischen Union müssen für den grenzüberschreitenden Verkehr mindestens die im „Europäischen Umsetzungsplan ETCS“ (6/2017) genannten Strecken durchgängig mit ETCS ausgerüstet werden. Zusätzlich ist aufgrund der Abkündigung der LZB bis 2030 ein neus Zugbeeinflussungssystem zu installieren – zumindest für Strecken, auf denen höhere Geschwindigkeiten als 160 km/h oder in dichterer Zugfolge gefahren werden.

ETCS stellt ein Zugbeeinflussungssystem mit teilkontinuierlicher (ETCS Level 1 LS) und kontinuierlicher (ab ETCS Level 2) Datenübertragung dar. Bei diesen Systemen werden ohne Unterbrechung Daten zwischen Strecke und Triebfahrzeug ausgetauscht. Dadurch werden Änderungen der zugelassenen Geschwindigkeit unverzüglich dem Fahrzeug übermittelt, was den Betriebsfluss verbessert und die Sicherheit vergrößert. Bei kontinuierlichen Übertragungssystemen werden Ausfälle der Streckeneinrichtung auf den Fahrzeugen sofort erkannt; sie sind in Deutschland für den Hochgeschwindigkeitsverkehr unentbehrlich. Durch die signaltechnisch sichere Anzeige der zulässigen Geschwindigkeit im Führerstand werden ortsfeste Signale entbehrlich. Somit ist mit diesen Systemen auch eine weitgehend automatische Fahr- und Bremssteuerung möglich.

Da die heutige Stellwerkstechnik für das Fahren im festen Raumabstand ausgelegt ist, kann der Streckendurchsatz abhängig von der jeweils gefahrenen Geschwindigkeit nicht dynamisch verändert und damit optimiert bzw. erhöht werden. Um das Streckennetz optimal ausnutzen zu können, bedarf es also Möglichkeiten zur automatischen und dynamischen Steuerung der Zugfolge. Erreichen lässt sich dies u.a. durch die Einführung des Fahrens im wandernden Raumabstand („Moving Block“/ETCS Level 3) sowie durch Automatic Train Operation (ATO). Diese Technologien werden in einigen Jahren zur Verfügung stehen,[6] allerdings noch nicht zu Beginn des Rollouts.

1.2. Anforderungen an die Technik

Ein Charakteristikum digitaler Technik ist ihre kontinuierliche Verbesserung und die Aussicht auf wachsende Funktionsumfänge. Um den Rollout kurzfristig beginnen zu können, empfehlen wir, mit heute verfügbaren Technologien zu starten, diese jedoch in einem Zielbild einzusetzen, das für die Weiterentwicklung offen ist. Im weiteren Verlauf des Rollouts ist ca. alle fünf Jahre, spätestens beginnend mit dem Jahr 2025, zu überprüfen, welche Technologie im Detail in den Folgejahren zum Einsatz kommen soll. Diese Versionierung garantiert einerseits den Einsatz jeweils aktueller Technologie, andererseits ermöglicht sie Stabilität in der Planung durch konkrete Festlegungen.

5 Richtlinie 96/48/EG transeuropäisches Hochgeschwindigkeitsbahnnetz und Richtlinie 2001/16/EG konventionelles transeuropäisches Eisenbahnnetz

6 Die vorgeschlagene technische Lösung ETCS-Mischlevel 2/3 und perspektivisch Level 3 bieten die Voraussetzungen für ATO. ATO-spezifische Aufrüstkosten sind zum heutigen Zeitpunkt nicht verlässlich bezifferbar.

Die Anforderungen an die Technik sind dabei so gestellt, dass mindestens gleichwertige Ergebnisse wie mit der heute bestehenden LST erreicht werden; im Regelfall tritt eine Verbesserung ein. Ebenso ist angestrebt, die Kosten für Investition, Betrieb und Instandhaltung zu senken und dabei eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur zu erreichen. Beispielsweise sind Verbesserungen in den folgenden Bereichen zu erzielen:

- Zuverlässige Ersatzteilversorgung, da die verbaute Technik dem aktuellen Stand entspricht
- Dauerhaft geringere Instandhaltungsaufwendungen, da wesentlich weniger Außenelemente zu warten sind
- Steigerung der Sicherheitslevels, z.B. Gefahren durch „unsichtiges Wetter", bei dem der Triebfahrzeugführer die Signale nicht richtig erkennt, werden durch Führerstandssignalisierung ausgeschlossen
- Durchlassfähigkeit der Knoten und Strecken, z.B. durch exakteres Fahren an Bremskurven, und dadurch weniger Fahrtzeitverluste
- Antwort auf den demografischen Wandel, da eine geringere Anzahl Fahrdienstleiter benötigt und das Berufsbild digitaler und zeitgemäßer und somit attraktiver gestaltet wird

1.3. Technisches Zielbild

Aus den geschilderten Anforderungen und Voraussetzungen für einen effizienten Rollout ergibt sich für den Start des Rollouts das folgende in Abbildung 1 dargestellte technische Zielbild.

Prämissen der Technologieauswahl definieren technisches Zielbild

- Deutschlandweit verfügbar und flächendeckend einsetzbar
- Einsatz weitestgehend einheitlicher Technik
- Vermeidung von Infrastrukturdoppelausrüstung
- Zukünftige Upgradefähigkeit
- Schaffung der Grundvoraussetzungen für autonomes Fahren

	Präferierte Parameter
ETCS/ NeuPro	
Class B	Kein Class B
Class A	Mix L2/L3
Stellwerkstechnologie	DSTW (und ESTW)
Kernvoraussetzungen	
Funk- und Datenübertragung	GSM CSD & GPRS
Gleisfreimeldung	Fahrzeugseitige Zugintegrität und -ortung (und Achszähler)
Zugintegritätsprüfung	Autom. Kupplung und Train Integrity Device
Zugortung	Eurobalise und Satellit + Korrektur
FZ-Ausrüstung	ETCS-only (Baseline 3.x) (zu Beginn Doppelausrüstung)
Wechselwirkungen	
Autom. Fahrbetrieb	GoA 1-4
Betriebssteuerung	< 20 Steuerzentralen
Datenübertragung	LWL-Kabel (ring- und sternförmig)

Abbildung 1: Das technische Zielbild für die ersten Jahre des Rollouts (bis ca. 2030)

Wesentlich für das technische Zielbild ist, dass erste Projekte mit ETCS L2 Full Supervision (ohne Signale) ohne Verzögerung begonnen werden. Sobald die Verfügbarkeit von ETCS Level 3 gewährleistet ist, soll dieser Standard auch zum Einsatz kommen. Dieser Mischlevel ermöglicht es, die Vorteile von ETCS Level 3 (Erhöhung streckenseitiger Kapazität, teilweiser Verzicht auf streckenseitige Gleisfreimeldeeinheiten) bereits teilweise zu erzielen, ohne eine fahrzeugseitige Zugintegritätsprüfung bei allen Zügen vorauszusetzen. Zudem bietet er die Option, schrittweise ETCS Level 3 einzuführen, abhängig von der Sicherstellung der Zugintegrität der Fahrzeuge, so dass im Laufe der Zeit die Vorteile von ETCS Level 3 graduell erreicht werden.

Ähnlich stellt sich die Situation bei den Stellwerken dar, wo noch laufende ESTW-Projekte zum Abschluss gebracht werden; sobald die DSTW-Technologie verfügbar ist, löst sie die ESTW-Technologie ab. Die Einführung von ETCS im Mischlevel 2/3 als einheitliches Zugbeeinflussungssystem hat direkte Auswirkungen auf die notwendige Außenanlage der Stellwerke. Ab dem Einsatz von ETCS Level 2 werden Informationen mittels Balisen bzw. per Funk direkt an den Zug übermittelt, so dass ortsfeste Signale als Elemente der Außenanlage obsolet werden. Auch ist bei ETCS Level 3 eine streckenseitige Gleisfreimeldung durch Achszähler und Gleisstromkreise perspektivisch verzichtbar, weil Integritätsprüfung und Ortung durch den Zug eigenständig erfolgen und per Funk an das Stellwerk übermittelt werden, so beispielsweise durch die automatische Kupplung und das Train Integrity Device. Dies erfordert ab Level 2 auch die flächenmäßige Verfügbarkeit eines Funksystems zur Verbindung von Fahrzeug und RBC.[7] Es stehen grundsätzlich die Funkstandards GSM-R (CSD, GPRS) sowie zukünftig beispielsweise FRMCS zur Verfügung.

Bezüglich der Betriebssteuerung bietet das System die Möglichkeit, die Anzahl der Steuerzahlen deutlich zu reduzieren. Im Rahmen der Detailplanung ist die Anzahl nicht nur aus technischer Perspektive, sondern auch im Zusammenhang mit personellen Aspekten zu definieren. Im Falle einer Änderung der Betriebssteuerungsstrategie, wie hier vorgeschlagen, sind die detaillierten Implikationen anhand zentraler Dimensionen noch einmal zu prüfen.

Um den Rollout in Bezug auf Umsetzung und Kosten möglichst effizient gestalten zu können, sind folgende Rahmenbedingungen zu betrachten:

- Aus Kostengründen erfolgt keine Doppelausrüstung der Infrastruktur, dafür der Fahrzeuge. Eine Doppelausrüstung der Infrastruktur mit der bestehenden und der ETCS-Technologie würde in etwa doppelt so viel kosten wie die doppelte Ausrüstung der Fahrzeuge (siehe Abbildung 2)[8]

7 Die Funkertüchtigung des Bestandsnetzes ist im Business Case hinterlegt.

8 Im Finanzierungsrahmen sind die Investitionen für Fahrzeuge nominalisiert mit 4 Mrd. EUR hinterlegt.

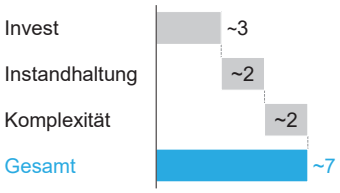
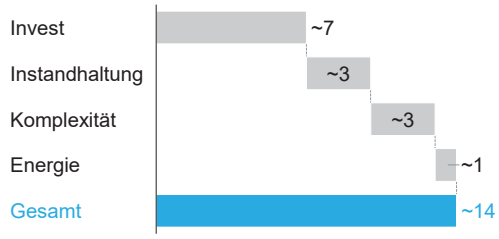
Doppelausrüstung bei	Beschreibung	Vorläufige Kostenschätzung (nur für die Doppelausrüstung) basierend auf bereits erfolgtem NeuPro-Rollout In Mrd. EUR nicht nominalisiert – Zeitraum 2020 - 40
Fahrzeugen	Fahrzeuge haben über die komplette Laufzeit der Migration weiter Class-B (PZB/LZB) sowie Class-A-System (ETCS) installiert Insgesamt handelt es sich um eine Größenordnung von ca. 10.000 Fahrzeugen	
Infrastruktur	Die Schieneninfrastruktur des Bundes wird (nahezu) über den gesamten Migrationszeitraum gleichzeitig mit Class-A- und Class-B-Systemen ausgestattet Insgesamt sind etwa 33.000 Streckenkilometer mit ca. 235.000 Stelleinheiten betroffen, davon ~180.000 Signale	

Abbildung 2: Vergleich notwendiger Investitionen im Rahmen einer Doppelausrüstung

- Statt der Erneuerung einzelner Stellwerke zum jeweiligen Ende ihrer technischen Nutzungsdauer wird die Umstellung kompletter Netzbezirke auf ETCS und DSTW vorgeschlagen (Ausnahmen bei Fertigstellung laufender Projekte und Piloten, siehe Kapitel 3), um die Zahl der Schnittstellen gering zu halten. Es werden somit nicht einzelne Strecken oder Korridore, sondern gesamte Regionen umgerüstet. Dies hat den Vorteil, dass Schnittstellen mit Systemwechsel (maximal) nur an den Verbindungen zu den nächsten Netzbezirken erforderlich sind. Dies führt auch dazu, dass Triebfahrzeugführer sich seltener auf verschiedene LST-Systeme einstellen müssen. Außerdem wird die Stellwerkstechnik des Netzbezirks an einem Punkt zusammengeführt.

- Für die Technik ist eine Versionierung vorgesehen. Dies bedeutet, dass mögliche Neuerungen nur zu festgelegten Zeitpunkten eingeführt werden, um jeweils das Gesamtsystem auf einem Stand zu halten und die Update-Kosten zu minimieren.

2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des beschleunigten Rollouts im Vergleich zu einem Referenzszenario der sukzessiven Ausrüstung

2.1. Methodik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Unterschied zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von neuen Vorhaben, wo sich die gesamten Investitionen einem Nutzen gegenüberstellen lassen, kann die Wirtschaftlichkeit für den Ersatz eines Teilsystems nur gegen ein Referenzszenario ermittelt werden. Die Alternative zum beschleunigten Rollout von DSTW und ETCS besteht nicht darin, nichts zu tun, sondern diese neue Technik langsamer auszurollen oder eine andere Technik – sofern verfügbar und zulässig. Daher haben wir neben dem Basisszenario ein Referenzszenario definiert, gegen das wir das Rolloutszenario vergleichen (siehe Abbildung 3).

	Rolloutszenario	**Referenzszenario**
Umrüstumfang Strecke/ ETCS	Komplette Umrüstung des Eisenbahnnetzes des Bundes (~33.000 km)	Strecken mit bestehender Finanzierungszusage EDP (~2.400 km) LZB-Strecken (~2.500 km) Neubaustrecken gemäß Bedarfsplan (~1.700 km) Sonstige Strecken (~200 km)
Umrüstumfang Infrastruktur/DSTW	Komplette Umrüstung der Infrastruktur	Fast (95%) komplette sukzessive Umrüstung der Infrastruktur
Nicht im Umrüst-umfang	-	Verbleibende Strecke (~ 26.000 km)
Zeitrahmen	Bis 2040	Bis ~2046

Abbildung 3: Vergleich des Rolloutszenarios mit dem Referenzszenario

Wir haben das Referenzszenario bewusst als ein Szenario mit niedrigen Investitionen angelegt, um im Sinne einer konservativen Minimallösung tatsächlich die wirtschaftliche Überlegenheit eines beschleunigten Rollouts darlegen zu können. Dem Referenzszenario liegen zwei Annahmen zugrunde: Erstens wird ETCS in Deutschland nur im Rahmen der europäischen Vorgaben und als Alternative zur LZB auf knapp 7.000 km Strecke bis ~2030 eingeführt, zweitens werden Altstellwerke erst zum Zeitpunkt ihrer technischen Abgängigkeit durch digitale Stellwerke als neueste Technologie ersetzt.

Das Rolloutszenario setzt auf einer durch die Deutsche Bahn im Jahr 2015 für die Infrastruktur entwickelten Nutzen-Kosten-Analyse auf, erweitert diese um die Fahrzeugseite und bezieht weitere Nutzenfaktoren für den Eisenbahnsektor mit ein. Für das Rolloutszenario haben wir verschiedene technische Varianten entwickelt und die wirtschaftlich optimale mit dem Referenzszenario verglichen.

Wir haben uns bei der Nutzenbetrachtung auf konkret identifizierbaren und finanziell quantifizierbaren Nutzen beschränkt, um auch hier konservativ zu rechnen. Auf der Kostenseite haben wir neben einer jährlichen Kostensteigerung auch einen Risikozuschlag von 20% vorgesehen. Für beide Szenarien haben wir mit dem einheitlichen Nominalisierungssatz von 2,0% gerechnet.

Sowohl für das Kostensteigerungsrisiko als auch für die mögliche Änderung des Diskontierungszinses haben wir eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt.

2.2. Kosten- und Nutzenfaktoren

Kosten

Die Ermittlung der Kosten wurde für beide Technologien, ETCS und DSTW, durch drei Datenpunkte ermittelt:

- Heutige Kostenansätze der DB aus bestehenden Projekten
- Erfahrungswerte von ETCS und Stellwerksprojekten aus anderen europäischen Ländern
- Soll-Kosten-Rechnung auf Basis von unterstellten Mengen und spezifischen Kosten für Material, Bauleistungen, Planungs- und Programmierungsleistungen sowie Projektmanagementleistungen

Da sich vor allem die DSTWs, aber auch Elemente von ETCS noch in der Pilotierung bzw. Frühphase der Entwicklung befinden, sind hier über die Zeit Kostensenkungen zu erwarten. Daher wurden für ausgewählte Kostenpositionen spezifische Kostensenkungshebel untersucht und berücksichtigt.

So wurde eine umfangreiche Werttreiberanalyse für DSTW in NeuPro-Architektur und ein flächendeckender Rollout von ETCS Level 2 ohne Signale durchgeführt. Daran anknüpfend wurden Vorschläge zur Senkung des jeweiligen Investitionsvolumens erarbeitet. Im Mittelpunkt dieser Vorschläge stehen Design to Cost/Benchmarking sowie alternative Auslegungen des Gesamtsystems. Diese Ergebnisse sind in das technische Zielbild eingeflossen und bilden die Grundlage der Kostenschätzung.

Wir gehen davon aus, dass diese Hebel nur bei einem industrialisierten Rollout in der Art und Weise adressierbar sind, da andernfalls die Volumina nicht ausreichen und auch die Kontinuität sowie die Einzelgröße der Umrüstprojekte keine deutlichen Kostenreduzierungen erwarten lassen würden.

Nutzen

Den Nutzen haben wir konservativ abgeschätzt und nur klar quantifizierbare Effekte in die Kosten-Nutzen-Abwägung aufgenommen:

- Effizienzsteigerung in der Betriebsführung – reduzierter Nachbesetzungsbedarf von Stellwerkspersonal
- Reduktion der Instandhaltungskosten und Reduktion der Energiekosten im Betrieb durch Wegfall bestehender streckenseitiger Signale
- Energieeinsparung im Verkehr durch verbesserte Brems- und Anfahrkurven

Weitere Nutzenfaktoren sind vorhanden, aber nicht quantitativ in die Berechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens eingegangen:

- Klimabeitrag des Verkehrssektors durch Veränderungen im Modal Split bei Personen- und Güterverkehr aufgrund höherer Kapazität im Netz und perspektivisch sinkender Kosten
- Gewährleistung der Demografiefestigkeit des Bahnbetriebs

- Bereitstellung der Basis für weiter gehende Digitalisierung – neben anderem Vorbereitung für Automatic Train Operation (ATO) durch ETCS Level 2
- Beitrag zur Schaffung eines durchgängigen europäischen Verkehrsraums – Ablösung der nationalen Technik durch einen einheitlichen Standard
- Erhöhte Qualität des Schienenverkehrs durch Reduktion von Störanfälligkeit und Wartungsaufwand

2.3. Referenzszenario

Zwei Annahmen sind für die Definition des Referenzszenarios zugrunde gelegt: Erstens werden europäische Verpflichtungen eingehalten und zweitens werden Altstellwerke sukzessive ersetzt.

ETCS wird in Deutschland nur im Rahmen der europäischen Verpflichtungen und als Alternative zur LZB auf ~7.000 km eingeführt (vgl. Abbildung 4).

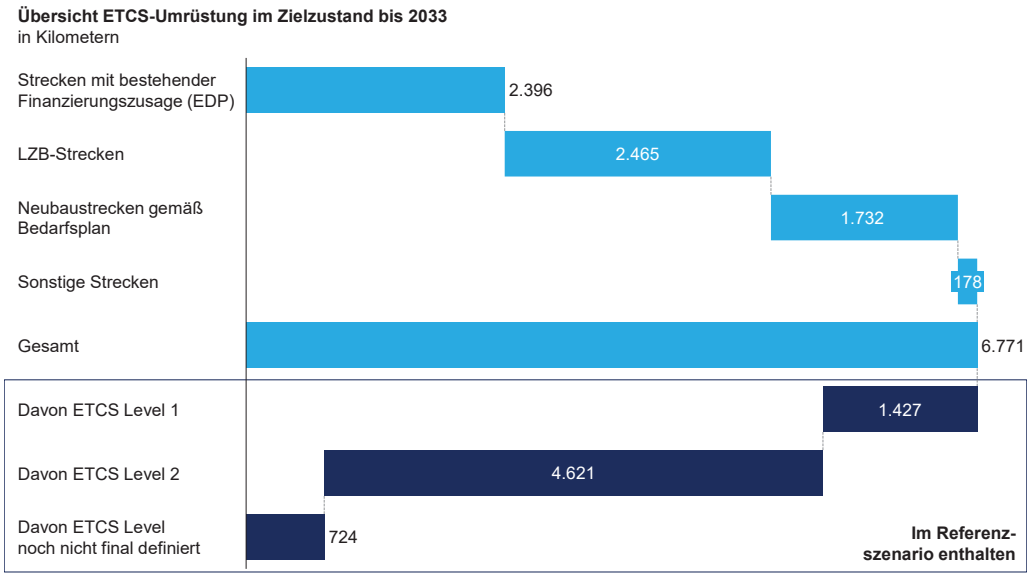


Abbildung 4: Übersicht minimaler ETCS-Streckenausbau im Referenzszenario

- Unter Beachtung der EU-Verordnung, aber auch des Haushalts- und Wirtschaftlichkeitsvorbehalts, wird im Referenzszenario von einem ETCS-Streckenausbau allein im Rahmen der bestehenden Finanzierung (Zusicherung durch BUV, LuFV und ERTMS-Haushaltstitel) ausgegangen.
- Die Abkündigung der LZB-Technologie ab 2030 erfordert eine Lösung für Hochgeschwindigkeitsstrecken und dicht befahrene Netze oder Streckenabschnitte.

Altstellwerke werden sukzessive durch digitale Stellwerke als neueste Technologie ersetzt.

- Die Mehrheit der Stellwerke (über 95%, gemessen in Stelleinheiten) ist bis 2046 technisch abgängig und muss zur Fortführung des Bahnbetriebs aktualisiert werden[9]. Damit ist eine Erneuerung der (nahezu) gesamten Stellwerkslandschaft im deutschen Eisenbahnnetz unumgänglich.

9 Quelle: Deutsche Bahn

- Stellwerke werden technisch abgängig, wenn sie das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreichen. Dies hat aufgrund verschiedenster Faktoren zu einem Umrüstungsstau im Jahr 2015 geführt, wie in Abbildung 5 ersichtlich. Diesen Umrüstungsstau lösen wir im Referenzszenario nicht auf, sondern schreiben ihn fort, so dass die letzten Stellwerke erst 10 Jahre nach ihrer technischen Abgängigkeit ersetzt werden.

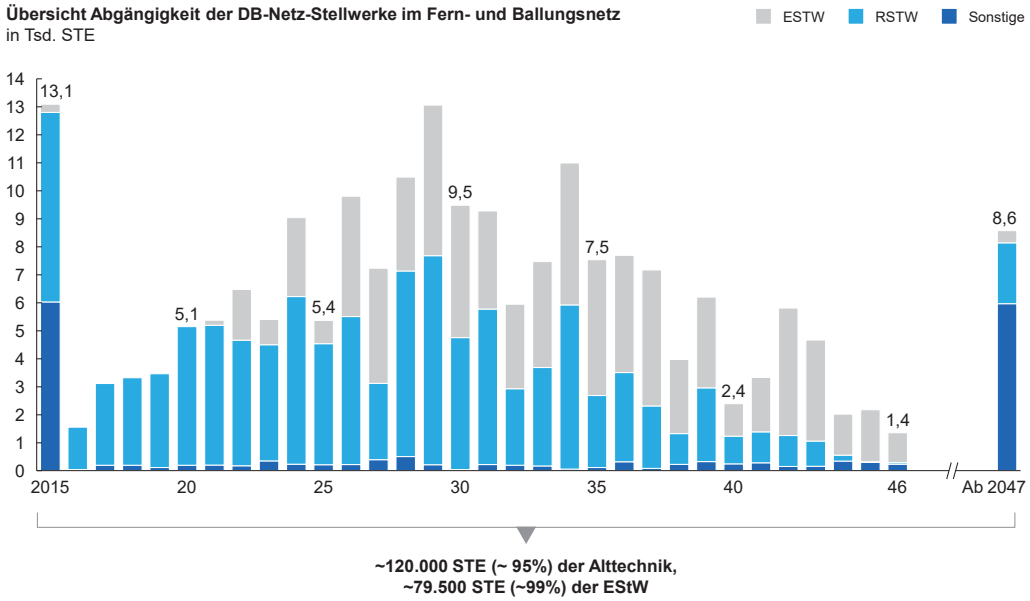


Abbildung 5: Abgängigkeit der DB-Netz-Stellwerke

Das Referenzszenario geht außerdem von bestehenden Kostensätzen für ETCS und Stellwerkstechnologie aus. Wirtschaftlichkeitseffekte durch stringentere Abwicklung, größere Projekte, Standardisierung können hier durch die derzeitige Bearbeitungs- und Finanzierungslogik nicht gehoben werden.

Im Referenzszenario würde kein vergleichbarer infrastrukturseitiger Nutzen aus der ETCS-Ausrüstung anfallen, da auch weiterhin nicht auf PZB und die Signale verzichtet werden könnte. Auszugehen ist lediglich von einem dem NeuPro-Hochlauf entsprechenden personalbezogenen Nutzen, der allerdings langsamer stattfindet.

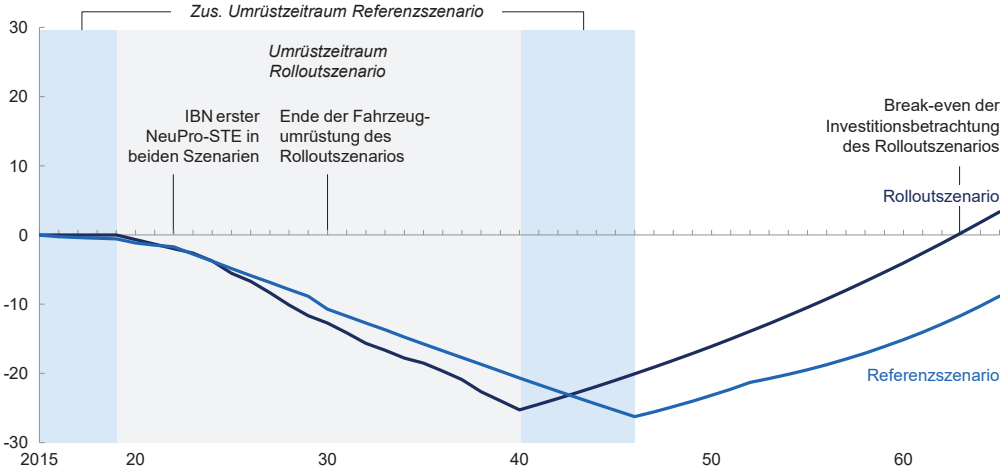
2.4. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Der vorgeschlagene flächendeckende Rollout von ETCS/NeuPro mit den zugrunde liegenden Annahmen ist gegenüber dem Referenzszenario die langfristig vorteilhaftere Option. Zwar ergeben sich nach Nominalisierung bei einem Nominalisierungssatz von 2,0% ein Nutzenüberschuss von ~3 Mrd. EUR und dabei Mehrkosten von ~7 Mrd. EUR des Rolloutszenarios gegenüber dem Referenzszenario im Jahr des abgeschlossenen Rollouts im Referenzszenario 2040. Zum Ende des Umrüstzeitraumes des Referenzszenarios im Jahr 2046 ergeben sich allerdings bereits ein Nutzenüberschuss von ~5 Mrd. EUR und dabei ~1 Mrd. EUR weniger Kosten des Rolloutszenarios gegenüber dem Referenzszenario. Es wurden hier die inkrementellen Kosten mit dem inkrementellen Nutzen gegenüber dem Referenzszenario verglichen.

Auch bei privatwirtschaftlicher Betrachtung des Kapitalwerts unter Berücksichtigung fortlaufender Fortschreibung aller Effekte ergibt die Analyse die Vorteilhaftigkeit des

Rollouts. Insbesondere die Rationalisierungseffekte der Design-to-Cost-Analyse senken die notwendigen Kosten massiv und ermöglichen zeitgleich ein frühestmögliches Einsetzen des Nutzeneffektes. Abbildung 6 visualisiert den Saldo der Investitionsbetrachtungen des Referenzszenarios und des Rolloutszenarios über Zeit.

Nettonutzen von Rolloutszenario und Referenzszenario im Zeitverlauf
in Mrd. EUR, kumuliert, inklusive Risiko, nominalisiert (2% p.a.)



QUELLE: McKinsey, DB Netz AG

Abbildung 6: Vergleich des Referenz- und des Rolloutszenarios über Zeit

Der Business Case ergibt im Rolloutszenario ein Brutto-Gesamtinvestitionsvolumen von ~32 Mrd. EUR (alle Angaben nominalisiert, nicht diskontiert) im Zeitraum von 2020 bis 2040[10], wohingegen das Brutto-Gesamtinvestitionsvolumen des Referenzszenarios im gleichen Zeitraum bei ~24 Mrd. EUR liegt und bis ins Jahr 2046 auf ~33 Mrd. EUR anwächst.[11] Für denselben Betrachtungszeitraum wird im Rolloutszenario ein kumulierter Gesamtnutzen für das System Schiene von ca. 6 Mrd. EUR errechnet.

10 Evtl. geringe nachlaufende zahlungswirksame Verbindlichkeiten

11 Obwohl im Referenzszenario in Summe weniger Streckenkilometer mit ETCS ausgerüstet werden, fallen dennoch vergleichbare Kosten an wie im Rolloutszenario. Dies liegt einerseits daran, dass auch im Referenzszenario (bis 2046) fast alle Stelleinheiten (95%) aufgrund von Abgängigkeit umgerüstet werden. Diese sind der Hauptkostentreiber. Andererseits fallen durch das generell langsamere Vorgehen höhere Umsetzungskosten an.

Ab 2040 ergibt sich ein jährlicher Nutzen von ~1 Mrd. EUR. Der Break-even der Investitionsbetrachtung liegt im Jahr 2063. Abbildung 7 stellt die Kostenaufteilung dar und Abbildung 8 die Nutzenaufteilung.

Kumulierte Kosten des Rolloutszenarios bis 2040
in Mrd. EUR, kumuliert, inklusive Risiko, nominalisiert (2% p.a.)

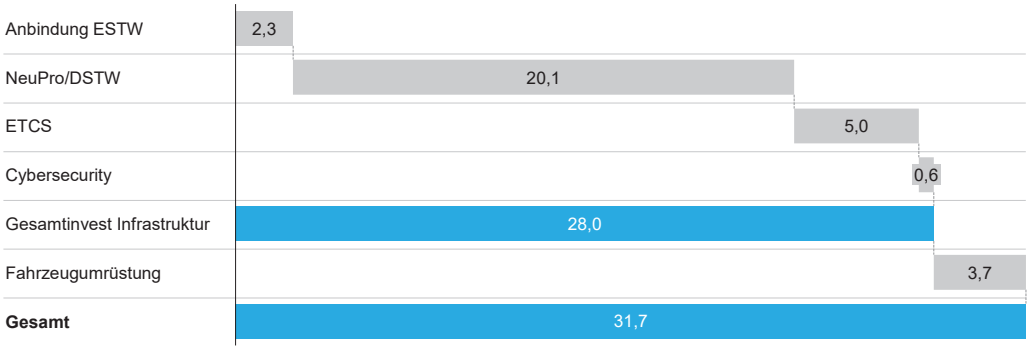


Abbildung 7: Kostenpositionen des Rolloutszenarios

Kumulierter Nutzen des Rolloutszenarios bis 2040
in Mrd. EUR, kumuliert, inklusive Risiko, nominalisiert (2% p.a.)

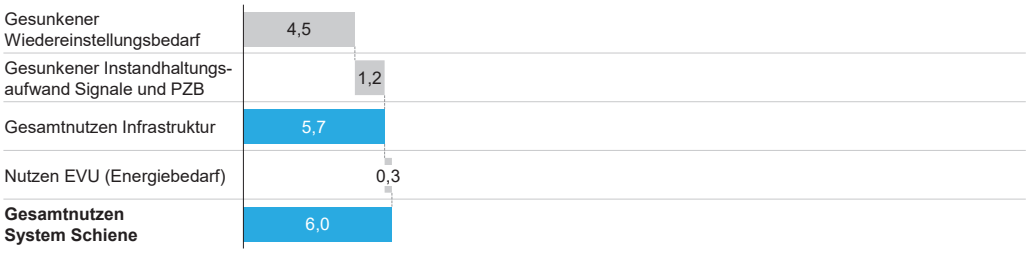


Abbildung 8: Nutzenpositionen des Rolloutszenarios

Abbildung 9 stellt den Kosten- und Nutzenhochlauf des Rolloutszenarios über Zeit dar.

Kumulierter Saldo des Rolloutszenarios bis 2040
in Mrd. EUR, kumuliert, inklusive Risiko, nominalisiert (2% p.a.)

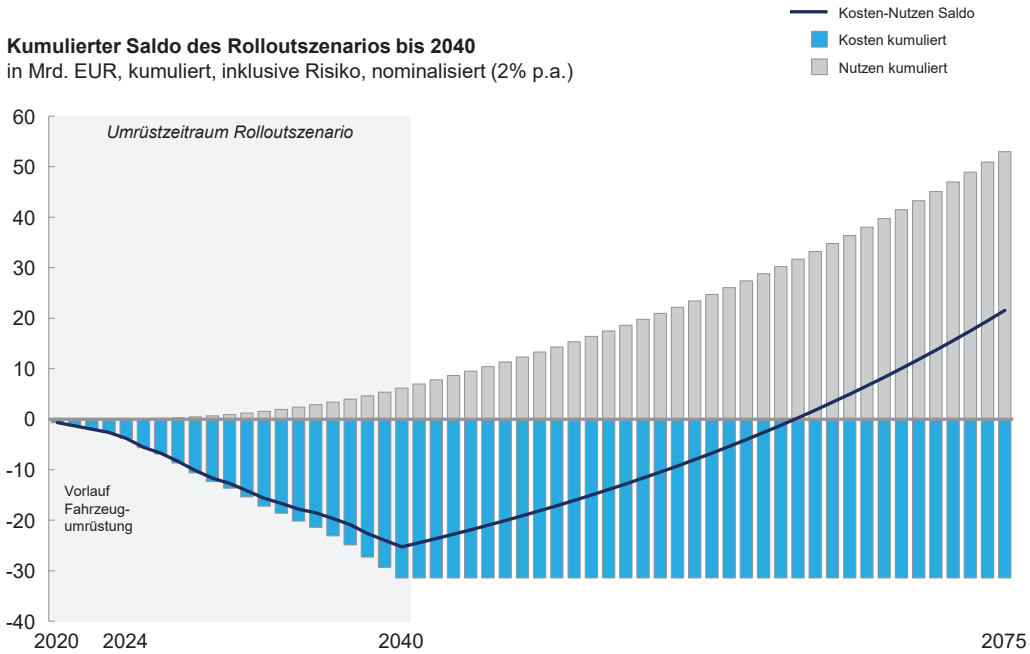


Abbildung 9: Kosten- und Nutzenhochlauf des Rolloutszenarios

3. Festlegung der industrialisierten Rolloutstrategie inklusive der Startphase

3.1. Strategische Rolloutplanung

Ziel der strategischen Rolloutplanung ist es, das konkrete Vorgehen für die ETCS-/DSTW-Umrüstung festzulegen, das als Grundlage für Wirtschaftlichkeitsrechnung dient sowie auch für die spätere Detailplanung des Rollouts. Angesichts des avisierten Rolloutzeitfensters bis 2040 und der Größenordnung dieses Infrastrukturvorhabens sind die Ergebnisse als Leitlinien zu verstehen, die regelmäßig überprüft und ggf., mit Blick auf sich ändernde Rahmenbedingungen, angepasst werden müssen.

Die wesentlichen Prämissen der Rolloutplanung sind zum einen der Abschluss des Rollouts bis 2040 sowie der Beginn der Umrüstung mit bereits verfügbarer Technologie bei Gewährleistung der zukünftigen Anschlussfähigkeit. Überdies sollen die Dauer des Parallelbetriebs kurzgehalten und die Vorgaben der Europäischen Kommission berücksichtigt werden.

Das Zielbild der Rolloutplanung in Deutschland umfasst das gesamte Netz der Eisenbahnen des Bundes: ca. 33.000 km Strecke sowie ca. 235.000 STE.[12] Zudem wird die ETCS-Einführung im Mischlevel 2/3 ohne Signale gemeinsam mit der Einführung von DSTW vorgeschlagen. Bestehende ESTW sollen möglichst an die neue digitale Stellwerksarchitektur angebunden werden. Über die Infrastruktur hinaus gilt es, im Rahmen des Rollouts ca. 9.000 Fahrzeuge[13] ETCS-fähig auszustatten und diese Umrüstung mit der Rolloutplanung der Infrastruktur zu harmonisieren.

In Bezug auf den Rollout wurden drei Grundsatzentscheidungen getroffen:

- Parallele Einführung von digitaler Stellwerkstechnologie und ETCS zur Realisierung von Synergieeffekten in Bezug auf Zeit und Kosten
- Übergangsweise doppelte Ausrüstung der Fahrzeuge gegenüber doppelter Ausrüstung der Infrastruktur wegen deutlich geringerer Gesamtkosten und höherer Flexibilität beim Rollout
- Ganzheitliche Umrüstung eines gesamten Netzbezirks als kleinster Umrüsteinheit gegenüber der Umrüstung einzelner Strecken zur Reduzierung von Schnittstellen mit der Alttechnik und zur Bildung logischer Steuerungseinheiten für den Betrieb

Für die Umrüstreihenfolge der einzelnen Netzbezirke wurden fünf Anforderungskomplexe in Betracht gezogen:

- Zwangspunkte aus europäischen Verordnungen und der Abkündigung existierender LST-Systeme durch die Industrie
- Verkehrliche Bedeutung und Berücksichtigung verkehrlicher Zusammenhänge
- Operativer Umrüstaufwand

12 Quelle: DB Netz AG, DER 2, I.NPS 4. Der exakte Umrüstbedarf ist im weiteren Verlauf der Machbarkeitsstudie zu validieren. So gibt es neben dem heutigen Bestand an mit ETCS umgerüsteten 250 km (Stand Oktober 2017) bereits bestehende Umrüst- und Finanzierungszusagen für ETCS von ca. 1.800 km bis 2023 bzw. ca. 2.000 km über 2023 hinaus. Ebenso gibt es Betriebsfälle wie Rangierbahnhöfe, in denen vermutlich auch künftig der Betrieb mit ortsfesten Signalen erfolgt und eine Umrüstung mit DSTW und ETCS nicht stattfinden wird.

13 Quelle: Deutsche Bahn AG, Daten & Fakten 2016; Angabe der Verbände; Expertenschätzung

— Antizipierter Nutzen

— Teils divergierende Stakeholderinteressen im Sektor

Vor dem Hintergrund dieser Anforderungskomplexe wurde folgende Priorisierungslogik angewandt (vgl. AP 2 im Detail):

1. EU-Vorgaben erfüllen durch Priorisierung der TEN-Korridore

2. Verkehrlichen Nutzen erhalten durch Priorisierung verkehrlicher Zusammenhänge

3. Infrastrukturellen Nutzen maximieren durch Fokus auf Alter der Stellwerkstechnik

Hieraus wurde ein theoretisches Basisszenario abgeleitet, aus dem wiederum durch Anpassung an die bereits bestehende Kurz- und Mittelfristplanung der DB Netz das vorgeschlagene Rolloutszenario entstanden ist, das in drei sich überlappenden Phasen umgesetzt werden soll – dabei steht dies unter dem Vorbehalt weiterer Anpassungen im Laufe der operativen Rolloutplanung:

1. *Fertigstellung laufender Projekte* bis 2024/2025, ohne dass in die bereits begonnene Planung eingegriffen wird, um Verzögerungen der Bauvorhaben zu vermeiden. Technisch werden dabei die festgelegten Strecken und Umleiterstrecken mit ETCS-Technik ausgestattet, ohne jeweils den kompletten Netzbezirk umzurüsten.

2. *Pilotieren und Lernen (Starterpaket DSD) ab 2020:* Die Inbetriebnahmen in den Jahren 2025 bis 2028 sind mit der DB Netz synchronisiert und spiegeln die strategische Planung im Rahmen der Initiative „Digitale Schiene Deutschland“ wider („Starterpaket DSD“). Die Auswahl berücksichtigte dabei die frühzeitige, initiale Nutzenmaximierung durch Verbindung bestehender ETCS-Strecken bei parallelem Start der ersten Pilotregion für ETCS in S-Bahn-Systemen, die Fortführung der verkehrlichen und infrastrukturellen Nutzenmaximierung durch Umrüstung von Netzbezirken, die an bereits umgerüstetes Gebiet angrenzen, sowie die Ablösung abgängiger Alttechnik (LZB). In der Pilotphase wird damit begonnen, ganze Netzbezirke mit DSTW- und ETCS-L2-Technik auszurüsten. Außerdem müssen die in AP 5 definierten Prozessverbesserungen im Rahmen der Pilotprojekte umgesetzt und die jeweiligen Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit getestet werden.

3. *Industrialisierter Rollout:* Basierend auf den ersten Erkenntnissen und Erfahrungen aus den Pilotprojekten, beginnt mit den Planungsaktivitäten im Jahr 2025 und den entsprechenden Inbetriebnahmen nach 2028 der industrialisierte Rollout (siehe Abbildung 10).

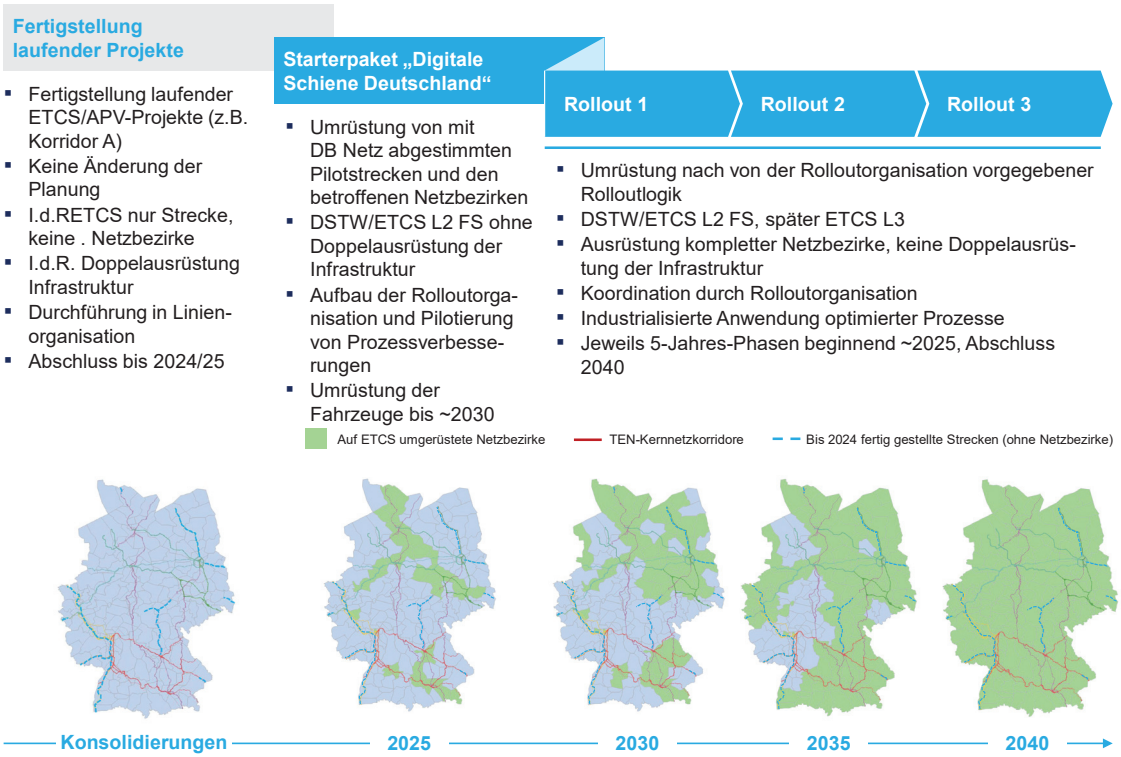


Abbildung 10: Darstellung des dreistufigen Hochlaufplans

3.2. Kontinuierliche Weiterentwicklung des technischen Zielbilds

Parallel zum Beginn des Rollouts und in Verbindung mit den Pilotprojekten, die mit der verfügbaren Technologie starten werden, sind weitere Anstrengungen zu unternehmen, um die Leit- und Sicherungstechnik kontinuierlich zu verbessern sowie kosteneffizient zu erstellen und zu betreiben:

- Weitere Standardisierung des Eisenbahnbetriebs (Betriebsabläufe, Betriebsverfahren) auf europäischer Ebene. Das bildet die Basis für eine einheitliche und standardisierbare Leit- und Sicherungstechnik.
- Weiterentwicklung des Systems DSTW im Hinblick auf Modularisierung und Standardisierung aller Module und Teilsysteme auf europäischer Ebene als Plattformtechnologie für zukünftige Funktionen und Applikationen. Zudem ist die Integration eines Overlay-Fernwartungssystems in seiner vollständigen Funktionalität nötig. Das schließt auch die Spezifizierung und Standardisierung aller notwendigen Schnittstellenprotokolle mit ein.
- Schaffung eines DSTW-Testlabors mit allen notwendigen Elementen und Teilsystemen zur Sicherstellung von Regressions- und Integrationstests sowie zum Test und zur Entwicklung zukünftiger Funktionen und Applikationen
- Weiterentwicklung und Standardisierung des Systems ETCS für Level 3 und folgende, inklusive der Funktionalität des RBC und der dafür notwendigen Schnittstelle zum DSTW [14]
- Zulassung von FRMCS/5G für den Bahnbetrieb

14 Perspektivische Zusammenlegung von RBS und DSTW zum Erhalt von weniger Hardwareschnittstellen

- Spezifizierung, Standardisierung und Einführung der fahrzeugseitigen Zugintegritätsprüfung, Zugortung und Zugschlussmeldung auf europäischer Ebene
- Spezifizierung, Standardisierung und Einführung automatischer Kupplungen im Güterzugbereich, Sicherstellung einer europäischen Übereinkunft und Einführung als Netzzugangskriterium
- Spezifizierung, Standardisierung und Einführung des automatisierten Rangierbetriebs (Basis ist die Einführung automatischer Kupplungen)
- Spezifizierung, Standardisierung und Einführung des automatisierten Fahrbetriebs auf europäischer Ebene
- Aufbau und Betrieb eines gemeinsamen europäischen Testzentrums mit allen relevanten Infrastrukturelementen, einschließlich der technischen Ausrüstung Bahn.

Hierbei wird die Spezifizierung und Standardisierung der LST (ETCS und DSTW) nur gelingen, wenn Hersteller und Betreiber gemeinsam sowohl an der Definition der Funktionen und Vorgaben zu den Systemen wie auch an den technischen Spezifikationen arbeiten und einvernehmliche Ergebnisse erreichen.

4. Entwicklung möglicher Finanzierungsmodelle und eines Finanzzielbilds für die Umsetzung

Arbeitspaket 4 beschäftigt sich zunächst mit der Bestimmung des Gesamtinvestitionsbedarfes der flächendeckenden ETCS/DSTW-Umrüstung in Deutschland und der Abschätzung des zusätzlichen Mittelbedarfes in Abgrenzung zur aktuellen Mittelverfügbarkeit aus bestehenden Finanzierungsregimen. Anschließend wird die Ausgestaltung der Finanzierung des Infrastrukturausbaus sowie der Fahrzeugumrüstung diskutiert.

4.1. Gesamtinvestitionsbedarf und Abschätzung des zusätzlichen Mittelbedarfes

Der Investitionsbedarf für den avisierten, industrialisierten Flächenrollout der ETCS/DSTW-Technologie beträgt bis 2040 in Summe EUR ~ 32 Mrd. EUR, wovon EUR ~ 28 Mrd. für Infrastrukturmaßnahmen und weitere EUR ~ 4 Mrd. für die Fahrzeugumrüstung anfallen. Dem gegenüber steht der bis 2040 auf EUR ~ 1 Mrd. jährlich ansteigende Nutzen, der entsprechend der aktuellen Regulierung über die Reduzierung der Trassenpreise den Transporteuren zugutekommen würde.

Der Mittelbedarf ist gegenüber alternativen Netzbezirksreihungen des Rollouts kaum sensibel, zeigt jedoch starke Schwankungen bei zeitlichen Verzögerungen des Rollouts. Eine Verlangsamung des Rollouts, die eine Annäherung an das unter 2.3 beschriebene Referenzszenario darstellt, bspw. durch Bauverzögerungen, führt zu deutlich höheren Gesamtkosten aufgrund der längeren Projektlaufzeit und der Inflationseffekte. Zum anderen erfolgt die Nutzenrealisierung erst zu einem späteren Zeitpunkt.

Unter der Annahme einer vollständigen Infrastruktur- sowie Fahrzeugumrüstungsfinanzierung ergibt sich bis 2040 ein Gesamtmittelbedarf von EUR ~32 Mrd. Davon entfallen 28 Mrd. auf die Infrastruktur und bis zu 4 Mrd. auf die Umrüstung der Fahrzeuge, je nach Höhe des Förderanteils, den der Bund für die Fahrzeugumrüstung übernimmt. Infrastrukturseitig sind heute durch bestehende Finanzierungsinstrumente (LuFV, Bedarfsplan, ERTMS-Haushaltstitel) jährlich etwa EUR ~400 Mio. für vergleichbare LST-Projekte vorhanden, die jedoch weitgehend zur Fertigstellung laufender Projekte (z.B. Korridor A) unabhängig vom Starterpaket gebunden sind. Daher sind diese Mittel zum Starterpaket überschneidungsfrei. Für den industrialisierten Rollout ab 2025 wurden Entlastungen der LuFV und BUV durch die bundesweite Einführung von ETCS und DSTW nicht verrechnet, da beide Vereinbarungen zum Zeitpunkt der Datenerfassung noch nicht abgeschlossen waren und eine Prognose gegeben zahlreicher externer Einflüsse nicht verlässlich ist. Vor der Entscheidung für den industrialisierten Rollout ab 2025 ist ein Abgleich mit den dann bestehenden Finanzierungslinien und -instrumenten herbeizuführen.

Jährliche Verteilung der zahlungswirksamen Kosten (Gesamtkosten: 32 Mrd./Infrastrukturkosten: 28 Mrd.)
in Mrd. EUR, inklusive Risiko, nominalisiert (2% p.a.)

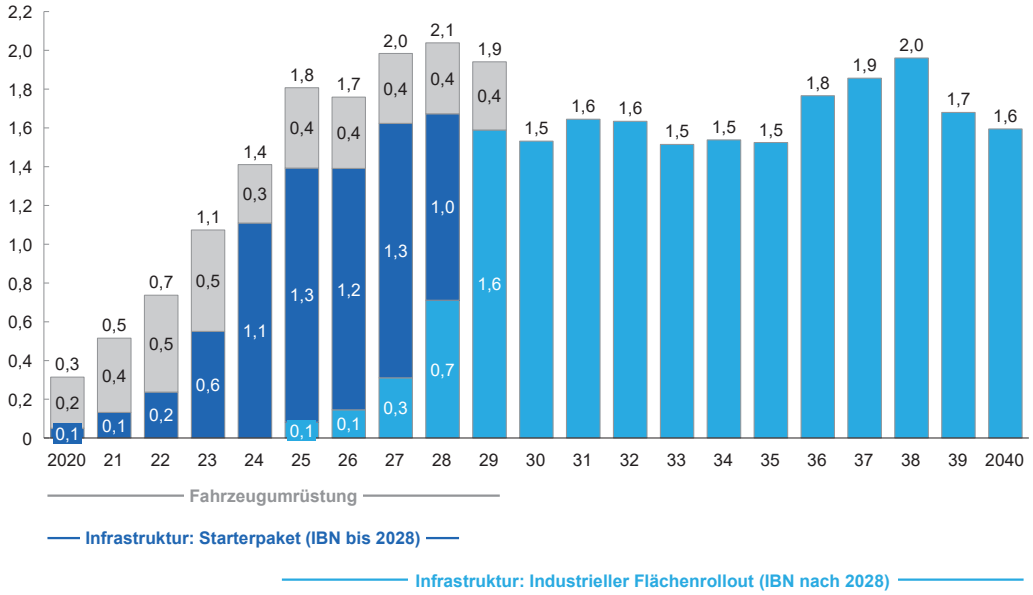


Abbildung 11: Darstellung der jährlichen Mittelbedarfe

4.2. Infrastrukturfinanzierung

Neben den bereits existierenden Fördermitteln LuFV (hauptsächlich zum Erhalt des Schienennetzes), BUV bzw. Bedarfsplan (hauptsächlich zum Neu- und Ausbau) sowie dem ERTMS-Haushaltstitel (spezifische LST-Investitionen) bestehen grundsätzlich drei Optionen zur Deckung des zusätzlichen Mittelbedarfs:

1. Finanzierung über Mittel des Bundes und potenziell der EU
2. Finanzierung über Eigenmittel der DB
3. Finanzierung über Mittel Dritter

Die Finanzierung aus Bundesmitteln ist dabei aufgrund der niedrigsten Gesamtkosten (die Kapitalkosten des Bundes liegen deutlich unter den Kapitalkosten der DB) gesamtwirtschaftlich am sinnvollsten und stellt über die Trassenpreisregulierung den maximalen Rückfluss des Nutzens an den Sektor sicher.

Option 2 ist aufgrund der Beeinträchtigung der Verschuldungsobergrenze der DB und der teureren Refinanzierung der DB am Kapitalmarkt nicht empfehlenswert. In Bezug auf Option 3 ist festzuhalten, dass die Infrastrukturfinanzierung eine Bundesaufgabe darstellt und sich das Schienennetz im Bundeseigentum befindet. Zudem müssten Renditeerwartungen Dritter in Betracht gezogen werden. Die Finanzierung über private Mittel gestaltet sich daher schwierig.

Es wird vorgeschlagen, das Budget zur Umsetzungsflexibilisierung pauschal alle zehn Jahre bereitzustellen und im Fünfjahrestakt eine Fortschritts- und Budgetüberprüfung auf Grundlage der tatsächlichen Kostensituation vorzunehmen.

Die Auszahlung sollte an eine jährliche Überprüfung vorher definierter zeitlicher und finanzieller Meilensteine gekoppelt werden. Zusätzlich sollte eine jährliche Überprüfung der korrekten und effizienten Mittelverwendung durch einen unabhängigen Wirtschaftsprüfer stattfinden.

Aufgrund der unterschiedlichen Natur von ETCS-Projekten und traditionellen Infrastrukturprojekten ist die aktuell für die Gelder aus dem ERTMS-Haushaltstitel angewandte Trennung von Planungs- und Baukosten und damit die Zahlung einer Plankostenpauschale zukünftig nicht sinnvoll. Sie bietet nicht die richtigen Anreize zur Senkung der Gesamtkosten durch eine detaillierte Planung.

Im europäischen Vergleich hat sich ein solches Vorgehen bewährt. Zusätzlich zeigen die Erfahrungen, dass eine frühzeitige, großflächige nationalstaatliche und europäische Förderung des Infrastrukturausbaus anzustreben ist, um Planungssicherheit zu schaffen. Außerdem empfiehlt sich eine zentrale Koordination der Umrüstung von Infrastruktur und Fahrzeugen. Synergieeffekte lassen sich durch die Bündelung der Auftragsvergabe und Nutzung von Rahmenverträgen realisieren.

4.3. Fahrzeugfinanzierung

Im Rahmen der Trassenpreisregulierung werden die durch den flächendeckenden Rollout realisierten Effizienzgewinne im Infrastrukturbereich kontinuierlich über die Regulierungsperioden nach dem Eisenbahnregulierungsgesetz an den Sektor und somit die Fahrzeughalter weitergegeben. Da dies jedoch im Vergleich zum Zeitpunkt der Investition in die Fahrzeugumrüstung zeitlich extrem versetzt erfolgt, wird die zwischenzeitliche Umrüstung der Fahrzeuge mit ETCS-Technik als förderungswürdig erachtet. Vorgeschlagen werden im Wesentlichen zwei staatlich finanzierte Instrumente:

First-of-Class-Förderung

Zur Überwindung der Initialkosten des “First Movers” ist es ratsam, eine First-of-Class-Förderung zu etablieren, innerhalb welcher die Zulassung des ersten Fahrzeugs einer Baureihe durch Fördermittel finanziert wird. Dadurch können eventuelle Wettbewerbsverzerrungen vermieden werden. Zudem würde eine derartige Förderung, sowohl für die Industrie als auch für die Fahrzeughalter, Planungssicherheit schaffen.

Grundlage der Förderung ist eine Positivliste (im Detail hinterlegt in AP 4), die alle Baureihen enthält, von denen es mindestens 10 Fahrzeuge im Sektor gibt, die mindestens eine Restnutzungsdauer von fünf Jahren haben. Darüber hinaus kann basierend auf einem Wirtschaftlichkeitsnachweis die First-of-Class-Förderung zusätzlicher Baureihen beantragt werden. Die Baureihenzulassungen und die entsprechende Förderung sollten durch den zentralen Rolloutkoordinator gesteuert werden.

Förderung von > 50% der Fahrzeugumrüstung

Zweites vorgeschlagenes Instrument ist eine Förderung von 50% oder mehr der tatsächlichen Umrüstkosten für die Fahrzeuge. Wir schlagen eine kilometerbezogene Bezuschussung der Fahrzeugumrüstung vor, deren Mittel unmittelbar an die Fahrzeughalter/Aufgabenträger fließen. Diese Bezuschussung dient neben dem Ausgleich der Investitionskosten auch dazu, einer Konzentration der Umrüstung aller Fahrzeughalter vorzubeugen, und gewährleistet somit eine gleichmäßige Umrüstung bei effizientem Ressourceneinsatz über den gesamten Umrüst-

zeitraum hinweg. Es wird vorgeschlagen, den kilometerbezogenen Fördersatz derart auszugestalten, dass ein Fahrzeug, welches eine Laufleistung von 50.000 km auf dem deutschen Schienennetz in maximal fünf Jahren erbringt, den maximalen Förderbetrag erhält.

Auch der europäische Vergleich zeigt, dass die Fahrzeugumrüstung in den meisten Ländern staatlich gefördert wurde oder wird. Zudem empfiehlt sich eine zentrale Koordination der Infrastruktur- und Fahrzeugumrüstung sowie der entsprechenden Förderung.

5. Prozessuale und organisatorische Rahmenbedingungen

5.1. Effizienzhebel für einen industrialisierten Rollout

Die Umrüstkapazität für die Leit- und Sicherungstechnik beläuft sich derzeit auf 3.000 bis 4.000 Stelleinheiten pro Jahr. Um einen flächendeckenden Rollout bis zum Jahr 2040 abschließen zu können, muss die Umrüstkapazität auf mehr als 10.000 Stelleinheiten pro Jahr gesteigert werden, so dass parallel ca. 1.800 km Strecke pro Jahr mit ETCS ausgerüstet werden können.

Auch die heute üblichen Planungszeiträume für Stellwerksprojekte von acht bis zwölf Jahren würden keinen Flächenrollout bis 2040 zulassen. Es ist daher eine Prozessoptimierung in allen Projektphasen zur Verringerung der Durchlaufzeiten auf etwa fünf Jahre erforderlich.

Wichtige Hebel sind dabei:

- *Digitalisierung der Planungsprozesse.* Modernisierung der IT-Infrastruktur durch den verstärkten Einsatz schnittstellenübergreifender Building-Information-Management-Systeme (BIM), die im Rahmen des Beschleunigungspakets vorangetrieben werden sollte, die Einführung eines Dokumentenmanagement-Systems zur Parallelisierung der Arbeitsabläufe, die Nutzung von Prüfsoftware für die digitalisierte Planprüfung sowie der Einsatz von Simulationen zur Vorbereitung betrieblicher Abnahmen
- *Standardisierung von Planungs-, Genehmigungs- und Zulassungsprozessen.* Im Rahmen der Fertigentwicklung eines lieferfähigen Produkts muss sichergestellt werden, dass ein Sortiment von Standardprodukten definiert wird, dessen Spezifikationen einem klaren Versionierungsregime unterliegen. Die Standardisierung der betrieblichen Aufgabenstellungen (BAST) im Rahmen der Entwurfsplanung inkl. der Erweiterung zur kombinierten Planung von ETCS- und DSTW-Maßnahmen muss abgeschlossen werden
- *Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens.* Die Vereinbarung von Maßnahmen mit dem EBA in Bezug auf die Genehmigungsplanung, um sicherzustellen, dass Planfeststellungsverfahren möglichst effizient abgewickelt werden können, z.B. Vereinheitlichung der Spezifikationen
- *Optimierung des Bauablaufs.* Minimierung von Sperrpausenbedarfen in enger Abstimmung mit dem operativen Bahnbetrieb
- *Integrierte Ressourcenplanung und integriertes Projektmanagement.* Die einzelnen Netzbezirke sind in einer übergreifenden Gesamtplanung zu integrieren und der Ressourceneinsatz netzbezirksübergreifend zu optimieren
- *Kooperative Vertragsmodelle* mit der Industrie, die eine gemeinsame Entscheidungsfindung ermöglichen: Die entsprechenden Modelle sind international erprobt (z.B. Heathrow Terminal 5) und wurden auch von der Reformkommission Großprojekte im vom BMVI veröffentlichten „Leitfaden Großprojekte“ ausführlich beschrieben.

5.2. Risikomanagement

Aufgrund der langen Laufzeit und der erheblichen Planungsunsicherheiten ist das Risikomanagement des Rollouts von entscheidender Bedeutung. In der Machbarkeitsstudie wurde eine detaillierte Analyse durchgeführt, um Schlüsselrisiken zu identifizieren und geeignete Maßnahmen zur Reduktion dieser Risiken zu definieren, die in den folgenden fünf Hauptbereichen liegen:

- *Finanzierung.* Eine frühzeitige Grundsatzentscheidung für einen flächendeckenden ETCS/DSTW-Rollout mit entsprechender Finanzierungszusage wird benötigt, um Planungssicherheit zu schaffen, damit die Industrie in benötigte Kapazitäten investiert.
- *Ressourcen (diverse Bereiche).* Qualifizierungsprogramme für interne und externe Schlüsselressourcen sowie Programme zur strategischen Mitarbeiterentwicklung müssen zeitnah gestartet werden, um Ressourcenengpässen frühzeitig vorzubeugen.
- *Betriebsregeln/Aufhebung des Bestandsschutzes.* Um ggf. erheblichen Mehraufwand und Verzögerungen des Rollouts zu vermeiden, müssen die Behörden frühzeitig in die Erarbeitung eines Bestandschutzkonzepts eingebunden werden. Standardplanungs- und Genehmigungspakete müssen definiert und abgestimmt werden.
- *Lieferfähigkeit der Industrie.* Durch den Abschluss von Rahmenverträgen mit entsprechenden Rate-Readiness-Vereinbarungen, kombiniert mit einem aktiven Management der Leistungserbringung, kann die Lieferfähigkeit der Industrie bestmöglich sichergestellt werden.
- *Fahrzeugzulassungen/-umrüstkapazitäten.* Durch die Schaffung der Voraussetzungen für eine weitestgehende Umrüstung der Fahrzeuge im Rahmen der Wartung und Instandhaltung kann das Risiko beschränkter Kapazitäten reduziert werden.

Die finanzielle Analyse der Restrisiken führt zu dem Ergebnis, dass ein zusätzliches Risikobudget in Höhe von rund EUR 6 Mrd. vorgehalten werden sollte. Dieses liegt damit im Rahmen der im Business Case angenommenen und bereits enthaltenen Risikoreserve von 20% der Gesamtkosten.

Um auf diese Risiken angemessen reagieren zu können, ist die frühzeitige Schaffung eines strukturierten Risikomanagement-Systems notwendig. Entscheidend für das Funktionieren dieses Prozesses ist es, dass in allen relevanten Bereichen Risikoverantwortliche nominiert sind, zusätzlich jedoch ein zentrales Team alle Aktivitäten koordiniert. Eskalations- und Entscheidungsprozesse, die kennzahlenbasiert Eingriffe und Handlungen der jeweiligen Führungsebene auslösen, sind klar zu definieren. Das Risikomanagement sollte durch ein spezialisiertes Software-Tool effizient und effektiv unterstützt werden. Soweit möglich sollten bereits definierte betriebliche Abläufe und Werkzeuge genutzt werden.

5.3. Organisatorische Aufstellung für den Rollout

Die Deutsche Bahn bereitet derzeit die Gründung der Gesellschaft „Digitale Schiene Deutschland“ vor. Unabhängig davon sind für den Bund eine Reihe von Elementen für den Erfolg des Rollouts entscheidend. Die Rolloutorganisation sollte für die Pilotphase mindestens enthalten:

- Verantwortliche Gesamtprojektleitung als Ansprechpartner für das BMVI, die EVUs, das EBA sowie weitere Stakeholder. Sie ist für die Gesamtkoordination des Rollouts verantwortlich.
- Dedizierte Projekteinheiten zu
  - *Fertigentwicklung der Standard-Lastenhefte und Umrüstung der Infrastruktur in den Pilotprojekten:* Zu den ersten zentralen Aufgaben zählt es, entsprechend dem definierten technischen Zielbild, die Entwicklung eines lieferbaren, zertifizierten Produkts in enger Abstimmung mit der Industrie abzuschließen sowie ein umfassendes Versionsmanagement aufzusetzen
  - *Koordination der Fahrzeugumrüstung,* dabei vor allem technische Koordination der Schnittstelle zwischen der streckenseitigen Infrastruktur und der OBU im Fahrzeug in Bezug auf Spezifikation, Tests und Zulassung, aber auch Sicherstellung entsprechender Kapazitäten durch Verhandlungen mit der Industrie sowie Rolloutabstimmung mit der Infrastruktur
  - *Einkaufs- und Vertragsmanagement* mit dem Ziel, den Aufbau der benötigten Kapazitäten sicherzustellen, und der Gesamtkostenreduzierung durch die Realisierung von Synergieeffekten infolge der Bündelung von Infrastrukturaufträgen und von Rahmenverträgen für die Fahrzeugumrüstung
  - *Rolloutstrategie und Risikomanagement* zur engen Überwachung von Fortschritt und Risiken, Anpassung der Finanzplanung und Kostenansätze an die Erfahrungen aus den Teilprojekten sowie zur Berichterstattung gegenüber dem Bund
  - *Genehmigungs- und Zulassungsprozesse:* Nicht nur die Standardisierung dieser Prozesse, sondern auch die Bündelung der Abwicklung in einer Einheit (sowohl bei der DB als auch beim EBA) sorgt für eine schnellere und zuverlässigere Bearbeitung.

6. Verfügbarkeit von Personal/Kompetenzen und Material

6.1. Personalressourcen

Im Rahmen der Betrachtung der zusätzlich benötigten Personalressourcen wird zwischen der Kapazität innerhalb der DB und externen am Prozess beteiligten Partnern unterschieden.

Für die Koordinations- und Steuerungsfunktion wird ein Ressourcenbedarf zwischen 100 und 200 Mitarbeitern, abhängig von der Projektphase, prognostiziert. Diese sind in den Kostenansätzen des Rollouts enthalten. Auf Basis aktueller Erfahrungen sind Personalengpässe insbesondere in der Planung, bei Plan- und Abnahmeprüfern und bei Inbetriebnahmeingenieuren zu erwarten. Um diesem Risiko aktiv zu begegnen, ist ein generisches, mehrstufiges Vorgehen nötig:

- Allokation der betreffenden Personalressourcen überprüfen, um ggf. überschüssige Kapazitäten in laufenden Projekten zu identifizieren und diese an anderer Stelle einzusetzen
- Prozesse optimieren, um den Gesamtbedarf zu minimieren
- Personalressourcen strategisch aufbauen und Mitarbeiter entwickeln (Qualifizierung und Befähigung), auch bundesseitig
- Globale Ressourcen nutzen (insbesondere aus der Industrie)

Externe Partner werden insbesondere im Planungs-, Genehmigungs- und Zulassungsprozess hinzugezogen. In allen Bereichen werden signifikante Kapazitätserhöhungen benötigt, um die unter den aktuellen Rahmenbedingungen erbrachte Bauleistung von rund 3.000 bis 4.000 Stelleinheiten pro Jahr zukünftig auf rund 10.000 Stelleinheiten pro Jahr zu steigern. Da eine solche Kapazitätserhöhung um 150% aufgrund beschränkter Mitarbeiterverfügbarkeit nicht realisierbar erscheint, wurden in AP 5 entsprechende Prozessbeschleunigungs- und -optimierungsmaßnahmen definiert.

Im Rahmen des Planungsprozesses wird insbesondere durch den Ausbau digitaler Prozesse und die beschriebene Standardisierung von Planungsabläufen schnittstellenübergreifend eine signifikante Produktivitätssteigerung von 50 bis 60% erwartet. Um die verbleibenden Zusatzbedarfe decken zu können, kommt es entscheidend darauf an, frühzeitig Planungssicherheit zu schaffen, um den Aufbau der benötigten Kapazitäten durch die Industriepartner sicherzustellen.

Am Genehmigungsverfahren beteiligt ist in erster Linie das EBA. Auch dafür gilt die notwendige Kapazitätssteigerung von rund 150%. Besonders durch die Minimierung des Bedarfs an langwierigen Planfeststellungsverfahren und die Definition von Standardgenehmigungsfällen kann die zusätzliche Belastung abgefedert werden. Kurz- und mittelfristig wird von einer zusätzlich benötigten Kapazität von ca. 30 bis 40% ausgegangen. Um sicherzustellen, dass hier das benötigte Personal rechtzeitig aufgebaut wird, ist eine frühzeitige Einbindung der Behörden in die Aufwandsplanung des Rolloutkoordinators sowie die finanzielle Berücksichtigung im Bundeshaushalt entscheidend.

Wie im Risikoregister dargestellt, ist die Verfügbarkeit von Ressourcen für die geballte Zulassung von Baureihen durch die Industrie eines der Schlüsselrisiken. Basierend auf dem Input von Industrieexperten ergibt sich ein Zusatzbedarf von ca. 500 Mitarbeitern über alle Industriepartner hinweg. Da die Industrie im Rahmen der Baureihenzulassungen auf ihren globalen Mitarbeiterpool und Vorarbeiten aus anderen europäischen Ländern zurückgreifen

kann, wird der dargestellte Zusatzbedarf als unproblematisch betrachtet. Die Zulassung aller Fahrzeugbaureihen sowie vorgelagert der notwendige Aufbau von Personal sollten jedoch explizit in den Rahmenverträgen zwischen dem Rolloutkoordinator und der Industrie verankert werden.

6.2. Industriekapazitäten

Bei der Analyse der Industriekapazitäten werden sowohl die für die Fahrzeugumrüstung als auch die für Infrastrukturausbaumaßnahmen benötigten Ressourcen betrachtet.

Fahrzeugumrüstung. Um die Umrüstung der Infrastruktur auf ETCS- und DSTW-Technik im anvisierten Zeitraum beginnen zu können, muss in der Vorlaufphase bis 2024/5 eine Umrüstkapazität von rund 1.600 Fahrzeugen pro Jahr erreicht werden. In Experteninterviews wurde eine Betriebsreserve von 3% als realistisch angesehen, die Fahrzeuge umfasst, die nicht im operativen Einsatz sind, jedoch für den Erhalt der Betriebsfähigkeit bei geplanten und ungeplanten Fahrzeugausfällen benötigt werden. Um auf diese Reserve im Sinne des Erhalts der Betriebsfähigkeit nur in möglichst geringem Umfang für die Fahrzeugumrüstung zurückgreifen zu müssen, wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie zwei Szenarien betrachtet – die Umrüstung der Fahrzeuge im Rahmen der geplanten Instandhaltungszyklen und der Einsatz von Poolfahrzeugen während der Umrüstung.

Da entsprechend den Regularien alle Fahrzeuge innerhalb eines Zeitraums von rund acht Jahren mindestens einmal komplett überholt werden, könnten auf diesem Wege rund 1.100 Fahrzeuge pro Jahr umgerüstet werden. Die verbleibenden 500 Fahrzeuge pro Jahr müssen rollierend in zehn Zyklen à 50 Fahrzeuge für jeweils fünf Wochen umgerüstet werden. Der Mehrbedarf an zusätzlich benötigten Mechanikern wird auf ca. 1.000 geschätzt. Vorteile dieses Vorgehens wären: eine erhebliche Verminderung der Planungskomplexität infolge der Nutzung der existierenden Instandhaltungsplanung, die Vermeidung des Aufbaus eines zusätzlichen großen Fahrzeugpools sowie die Möglichkeit, Synergieeffekte mit dem Instandhaltungsprozess zu realisieren und so die Gesamtumrüstkosten zu reduzieren. Voraussetzung ist jedoch, dass die entsprechenden First-of-Class-Baureihenzulassungen vorliegen, bevor Umrüstungen im Rahmen der Instandhaltung durchgeführt werden können. Der Rolloutkoordinator sollte sowohl den Aufbau des zusätzlich benötigten Personals als auch den mit dem zusätzlichen Bearbeitungsumfang verbundenen ETCS-spezifischen Aus- und Weiterbildungsbedarf in Rahmenverträgen mit den Industrieunternehmen verankern und den Umsetzungsfortschritt messen.

Alternativ wurde auch ein Szenario betrachtet, in dem für die gesamte Zahl der für die Umrüstung benötigten Fahrzeuge jeweils Poolfahrzeuge zum Austausch zur Verfügung stehen würden. Dieses Szenario wurde jedoch als nicht umsetzbar eingestuft – einerseits wegen der hohen Investitionskosten für rund 160 Fahrzeuge und andererseits wegen der Komplexität bei der Auswahl geeigneter, allgemein einsetzbarer Fahrzeugvarianten in den verschiedenen Verkehrssegmenten.

Infrastruktur. Sofern zwei Grundvoraussetzungen erfüllt werden, erwartet die Industrie keine Kapazitätsengpässe hinsichtlich der Herstellungskapazitäten der ETCS/DSTW-Hardware: Erstens muss eine Grundsatzentscheidung für den flächendeckenden Rollout frühzeitig und mit angemessenen Finanzierungszusagen getroffen werden und zweitens muss auf technischer Ebene ein einheitlicher und konsistenter Technologiestandard spezifiziert sein (vgl. AP 3), damit „Moving Targets“ mit stets wechselnden Anforderungen verhindert werden.

Der Aufbau der benötigten Kapazitäten und die Zielkosten sollten in Rahmenverträgen verankert und die Zielerreichung durch die Vereinbarung von Rate Readiness Systemen über den gesamten Umsetzungszeitraum kontinuierlich gemessen werden, um bei auftretenden Problemen umgehend reagieren zu können.

Ein weiterer entscheidender Hebel für die Sicherstellung der Kapazität ist die Verbreiterung der Anbieterlandschaft. Durch internationale Ausschreibungen sollte gewährleistet werden, dass alle potenziellen Lieferanten weltweit zum Zuge kommen können. In der frühen Phase der Auftragsvergabe sollten auch verfügbare Fertigungskapazitäten der Deutschen Bahn als Benchmark berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Herstellungskapazitäten für Zusammenhangsmaßnahmen ist festzuhalten, dass es bereits zum heutigen Zeitpunkt Lieferengpässe und Bauverzögerungen gibt, die ein Risiko für den anvisierten Zeitplan des Rollouts darstellen. Durch ein aktiveres Vertragsmanagement und ein zielgerichtetes Nachhalten der Leistungserfüllung lässt sich dieses unter der Voraussetzung, dass Interdependenzen zum ETCS/DSTW-Rollout frühzeitig identifiziert werden, reduzieren.

Der im Rahmen des ETCS/DSTW-Rollouts zusätzlich benötigte Sperrpausenbedarf und die damit einhergehende Beeinträchtigung betrieblicher Abläufe stellen ein weiteres Risiko dar, das jedoch durch die enge Abstimmung mit dem operativen Bahnbetrieb und der Baubetriebsplanung reduziert werden kann. Weiterer Hebel zur Reduzierung des Sperrpausenbedarfs ist der verstärkte Einsatz von Simulationen und Tests auf speziellen Teststrecken, um aufwendige Testfahrten im Streckennetz der DB zu vermeiden.

6.3. Technische Testkapazitäten

Im Rahmen der Zulassungsverfahren wird es daher in den Jahren bis 2024/5 zu einer geballten Nachfrage nach Testkapazitäten kommen – insbesondere nach Teststrecken und externen Testlaboren. Um dem Risiko, dass die benötigten Kapazitäten nicht zur Verfügung stehen, zu begegnen, muss in der Industrie rechtzeitig eine ausreichende Transparenz über das zu erwartende Auftragsvolumen geschaffen werden. Im Rahmen der Detailplanung der Fahrzeugumrüstung muss die genaue Differenz zwischen Soll- und Ist-Kapazität ermittelt werden. Basierend auf einer Grundsatzentscheidung für den Rollout und der damit einhergehenden Planungssicherheit sollte der Aufbau der entsprechenden Ressourcen im Rahmenvertrag über die zulassungsrelevanten Themen verankert werden.

Anhang 1 – Starterpaket

Durchfahrbarkeit TEN-Korridor Scan-Med

- Maschen-Uelzen-Magdeburg-Halle
- Nürnberg-Augsburg-München
- München-Rosenheim-Kiefersfelden/Freilassing

Qualität und Effizienz

- Magdeburg-Wittenberg-Falkenberg-Knappenrode
- Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main (LZB-Ersatz)
- Dortmund-Bielefeld-Hannover (LZB-Ersatz)

S-Bahn in Metropolen

- S-Bahn und Stuttgart 21
- Umland Stuttgart/Plochingen

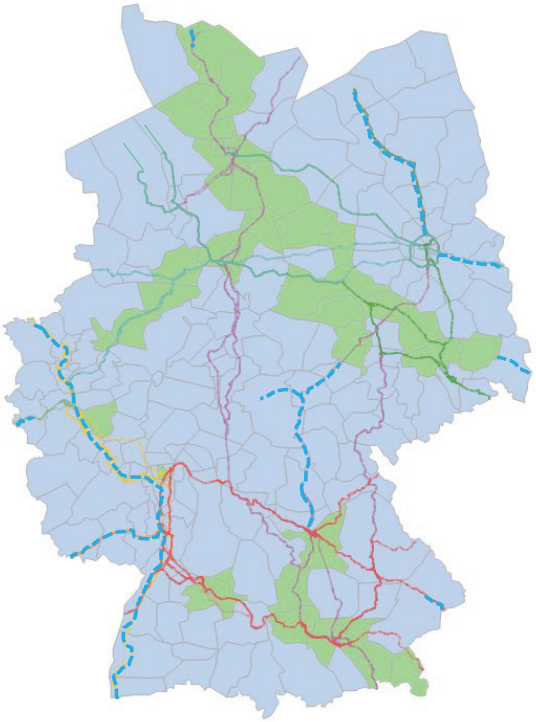
Anhang 2 – Karten zum Rolloutplan

Sich überlagernde Korridore sind jeweils nur einfarbig dargestellt.

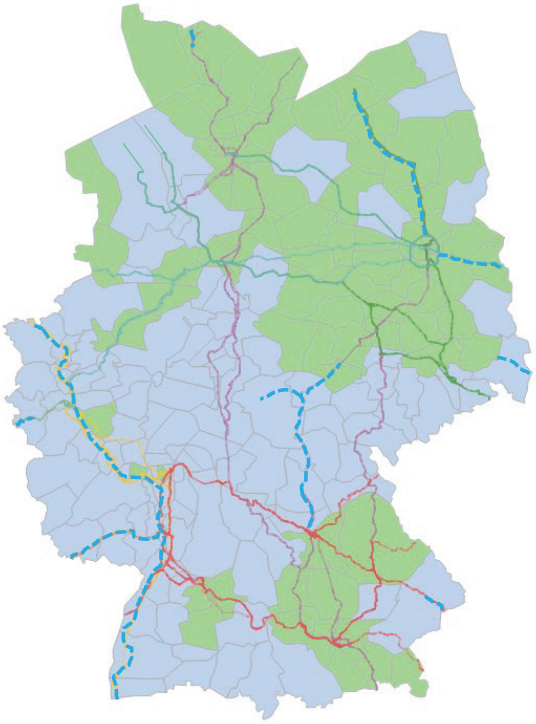
SCHEMATISCH ZUR DISKUSSION

- Atlantic
- Donau
- NorthSeaBaltic
- Orient
- RhineAlp
- ScanMed
- Inbetriebnahmen bis 2023
- Inbetriebnahmen

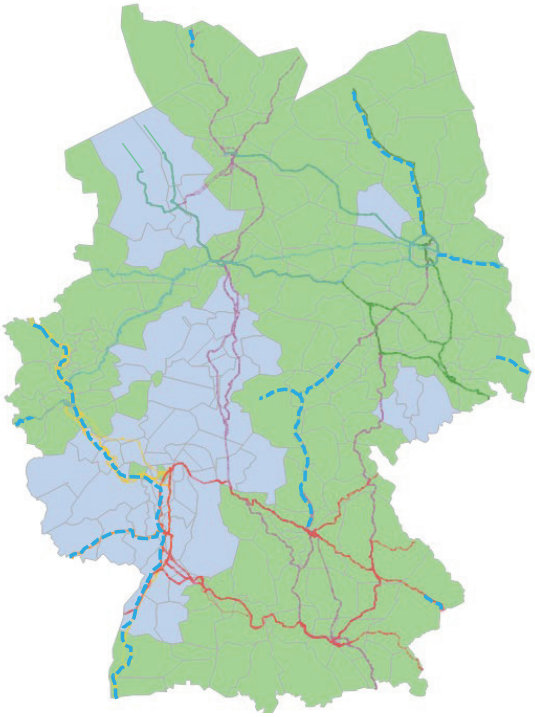
Stand Ende 2028



Stand Ende 2030



Stand Ende 2035



Stand Ende 2040

Dezember 2018
Copyright © McKinsey & Company
Design contact: Visual Media Europe
www.mckinsey.com