



Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart

Abschlussbericht

Version 2.0 vom 31.01.2019

Vorgangs-Nr.: 17FEI27440

Ingenieurgemeinschaft:

- WSP Infrastructure Engineering GmbH
- NEXTRAIL GmbH
- quattron management consulting GmbH
- VIA Consulting & Development GmbH
- Railistics GmbH

Kontakt

Ingenieurgemeinschaft „Machbarkeitsstudie ETCS S-Bahn Stuttgart“

c/o

WSP Infrastructure Engineering GmbH

Hanauer Landstr. 293

60314 Frankfurt am Main

Ansprechpartner (technischer Projektleiter der InGe):

Herr Steffen Jurtz

Telefon: +49 151 6155 0445

E-Mail: steffen.jurtz@nextrail.com

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
2,5G	2,5. Mobilfunkgeneration – GSM mit GPRS
4G	4. Mobilfunkgeneration
5G	5. Mobilfunkgeneration
AG	Arbeitsgruppe
AP	Ausführungsplanung
ATO	Automatic Train Operation
ATWG	(FRCMS) Architecture and Technology Working Group
BAST	Betriebliche Aufgabenstellung
BK	Blockkennzeichen (s. a. LBK)
Brh	Bremshundertstel
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
BTSF	Lastenheft "Betrieblich-technische Systemfunktionen"
CCS	Control Command and Signalling, Teil der TSI
CEC	zentrale ERTMS-Steuerung
CENELEC	Europäischen Komitees für elektrotechnische Normung (in diesem Dokument sind die Normen des Komitees gemeint)
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
C/I	Carrier to Interference (relevant im Mobilfunk)

Abkürzung	Erläuterung
C/Ic	Interference ratio for cochannel Gleichkanalstörabstand (relevant im Mobilfunk)
C/Ia	Interference ratio for adjacent channel, Nachbarkanalstörabstand (relevant im Mobilfunk)
COTS	Commercial-Off-The-Shelf-Technologie
CR	Change Request/ Änderungsanforderung
CSD	Circuit Switched Data
DMI	Driver Machine Interface
DNS	Domain Name System
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
D-Weg	Durchrutschweg
DP	Datenpunkt
EDOR	ETCS Data Only Radio
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBK	Eisenbahnbetriebsleiter
EBWU	Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchung
EBuLa	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen
EoA	Ende der Fahrerlaubnis (End of Authority)
ERA	European Railway Agency
Erl	Erlang, Einheit für die Verkehrsbelastung von Kommunikationsleitungen
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ETCS	European Train Control System

Abkürzung	Erläuterung
EVC	ETCS-Bordrechner
FDD	Frequenzteilungsduplex
FDMA	Frequenzmultiplexverfahren
FRMCS	Future Rail Mobile Communication System
FRS	Functional Requirement Specification
FS	Full Supervision
FzG	Fahrzeuggerät
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GoA	Automatisierungsgrad (bei ATO)
GPRS	General Packet Radio Service
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Rail
HA	Hauptaufgabe
Hbf	Hauptbahnhof
HDLC	High-Level Data Link Control
HF	Hochfrequenz
HLR	Home Location Register
HMZ	Hektometerzeichen
HS	Hauptsignal
H/V	H/V-Signalsystem (Haupt-/Vorsignal-System)
HVZ	Hauptverkehrszeit
HW	Hardware

Abkürzung	Erläuterung
IBG	Inbetriebnahmegenehmigung
IBN	Inbetriebnahme
InGe	Ingenieurgemeinschaft
I.NMF 34	Abteilung „Fahrwegkapazität und EBWU“ der DB AG
ISDN	Integrated Services Digital Network
JRU	Juridical Recorder Unit
kbit/s	Kilobits pro Sekunde
KMZ	Kilometerzeichen
km/h	Kilometer pro Stunde
Ks(-Signal)	Kombinationssignalsystem
LBK	LZB-Blockkennzeichen
LCC	Life Cycle Costs/ Lebenszykluskosten
LEC	lokale ERMITS-Steuerung
LH	Lastenheft
L1LS	ETCS Level 1 Limited Supervision
LUKS	Infrastruktur-Validierungssoftware der VIA Consulting & Development GmbH
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LTE	Long Term Evolution (4. Mobilfunkgeneration)
LTE-A	Long Term Evolution – Advanced (4,5. Mobilfunkgeneration)
LWL	Lichtwellenleiter
LZB	Linienzugbeeinflussung

Abkürzung	Erläuterung
m	Meter
m/s²	Meter pro Sekunde ² (Beschleunigung)
MA	Fahrterlaubnis
MaS	Instandhaltungsmanagementsystem
MGW	Media Gateway (GSM)
MIMO	Nutzung mehrerer (Senden- und Empfangs-) Antennen
min	Minute
MOTS	Modified-Off-The-Shelf-Technologie
MSC	Mobile Switching Centre
MSC-S	MSC Server
MVB	Multifunction Vehicle Bus
MT	Mobile Termination (Endgerät, wie z. B. GSM-R-Mobiltelefon)
MUX	Multiplexer
MV	Modulvertrag
NRBC	Nachbar-RBC (siehe RBC)
n. a.	nicht auswertbar
NV	national value
NSN	Nokia Solutions and Networks
NVZ	Nebenverkehrszeit
OB	Zusätzlicher Bezeichner für fahrzeugseitige Komponente („on board“)
OBU	On Board Unit

Abkürzung	Erläuterung
OdLW	Ort des Levelwechsels
OFDM	Siehe OFDMA
OFDMA	Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren
PCU	Packet Control Unit
PDH	Plesiochrone digitale Hierarchie
PROFIBUS	Process Field Bus
PROFINET	Process Field Network
PS	„packet switched“ für paketvermittelte Datenübertragung
PSD	Packet Switched Data
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
PSU	DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Eigenständige Projektgesellschaft für das Bahnprojekt Stuttgart–Ulm
QoS	Quality of Service
RBC	Radio Block Centre
Ril	Richtlinie
RSTW	Relaisstellwerk
Rz	Regelzeichnung
S-Bahn	Stadtschnellbahn
SCFDMA	Einzelträgerfrequenzmultiplexverfahren
SCI	Standard Communication Interface
SCP	Service Control Point

Abkürzung	Erläuterung
SDH	Synchrone digitale Hierarchie
SE	Sicherheitserprobung
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGV	Schienengüterverkehr
Sipo	Sicherungsposten
SK	Systemkategorie
SLA	Service Level Agreement
SoM	Start of Mission
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SR	ETCS-Betriebsart „Staff Responsible“
SRS	System Requirement Specification
STE	Stelleinheiten
STK	Standardkategorie
STM	Specific Transmission Module
STO	Semi-automatic Train Operation
STW	Stellwerk
SW	Software
Sz	Szenario
TAST	Technische Aufgabenstellung
Tbk	Teilblockkennzeichen

Abkürzung	Erläuterung
TCH	Verkehrskanal im Mobilfunk
TCMS	Train Control and Management System
TCU	Transcoding Unit
TDD	Zeitduplex
TDMA	Zeitmultiplexverfahren
Tf	Triebfahrzeugführer
TK	Telekommunikation
TMS	Traffic Management System
TRAU	Transcoder and Rate Adaption Unit
TRX	Transceiver (Sender-Empfänger-Einheit)
SAC	Safety Application Conditions
TS	Zusätzlicher Bezeichner für streckenseitige Komponenten („track side“)
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSR	Vorübergehende Langsamfahrstelle
UiG	Unternehmensinterne Genehmigung
URS	User Requirement Specification
UNISIG	Union Industry of Signalling
USB	Universal Serial Bus
ÜT	Übertragungstechnologie
ÜT-Weg	Übertragungstechnologieweg
VAST	Verkehrliche Aufgabenstellung

Abkürzung	Erläuterung
VDE 8	Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 8 (Neu- und Ausbaustrecken zwischen Nürnberg und Berlin via Erfurt und Halle/Leipzig)
VM	Verkehrsministerium
VV	Verwaltungsvorschrift
VV NTZ	Verwaltungsvorschrift für die neue Typenzulassung
W-LAN	auch WLAN, Wireless Local Area Network
Wsk	Wahrscheinlichkeit
WTB	Wire Train Bus
ZiE	Zustimmung im Einzelfall
ZL	Zuglenkung
ZS	Zugsicherung
ZSS	Zugsicherungssystem, im europäischen Sprachgebrauch auch „Automatic Train Protection“
ZVEI	Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektroindustrie

Inhaltsverzeichnis

Kontakt	2
Abkürzungsverzeichnis	3
Inhaltsverzeichnis	12
Abbildungsverzeichnis	25
Tabellenverzeichnis	30
0 Management Summary	35
0.1Summary	35
0.2Veranlassung und Ziele der Untersuchung	35
0.3Betrachtungsraum	36
0.4Ausrüstungsszenarien, Ergebnisse der Untersuchung	36
0.4.1 Ausrüstungsszenarien	36
0.4.2 Ergebnisse	38
0.4.3 Kosten	40
0.5Handlungsempfehlungen, notwendige Entscheidungen und Aktivitäten	40
1 Einleitung und Überblick	42
1.1Veranlassung	42
1.2Struktur des Dokumentes	42
1.3Definitionen	44
1.3.1 Betrachtungsraum	44
1.3.2 Technische Szenarien	45
1.3.3 Ausrüstungsszenarien	48
1.4Methodik	49
1.5Ergebnisse und Handlungsempfehlungen	50
1.5.1 Ergebnisse	50
1.5.2 Handlungsempfehlungen	55
1.5.2.1 Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)	55
1.5.2.2 Systemkomponente GSM-R	57

1.5.2.3	Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausrüstung	59
1.5.2.4	Systemkomponente ATO	61
1.5.2.5	Planungsanalyse	65
1.5.2.6	Laufzeiten und Verfügbarkeit	66
1.5.2.7	Betriebsanalyse	67
1.5.2.8	Ausrüstungsstrategien	68
1.5.2.9	Prozesse	69
1.5.2.10	Kostenschätzung	74
1.5.2.10.1	Schritt 1	74
1.5.2.10.2	Schritt 2	75
2	Schwerpunkt Technisches Zielbild	77
2.1	Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)	77
2.1.1	Überblick	77
2.1.1.1	Ziele der Hauptaufgabe	77
2.1.1.2	Fazit und Handlungsempfehlungen	78
2.1.1.3	Methodik und Eingangsdaten	80
2.1.2	Detailbeschreibung ESTW	81
2.1.2.1	zusätzliche Meldungen Schnittstelle SCI RBC	81
2.1.2.2	Koexistenz alleinstehender Ne 14 mit Lichtsignalen	81
2.1.2.3	Zusammenfassung von Achszählab schnitten	82
2.1.3	Detailbeschreibung ETCS (Streckenseite)	82
2.1.3.1	Mindestlänge von Zugfolgeabschnitten	82
2.1.3.1.1	Begrenzung aus Sicht der Ril 819.110 5 (2)	82
2.1.3.1.2	Begrenzung aus Sicht der ETCS-Anforderungen	82
2.1.3.1.3	Einfluss der Durchrutschwege	82
2.1.3.1.4	Mindestblocklänge und Gesamtverfügbarkeit	83
2.1.3.2	Rückfallebenen	83
2.1.3.2.1	Doppelausrüstung ETCS L2 PZB / Rückfallebene I	83
2.1.3.2.2	Durchfahren gestörter Funkbereiche / Rückfallebene II	83

2.1.3.2.3 Fahren in ETCS-Mode SR / Override EoA / Rückfallebene III	84
2.1.3.3 Aspekte zur Realisierung von SR	84
2.1.3.3.1 Schutz vor unerlaubter Vorbeifahrt am Folgesignal bei Vorbeifahrt am haltzeigenden Signal in LSTM PZB, Wert von D_NVOVTRP	84
2.1.3.3.2 Absenkung der Geschwindigkeit in SR auf 20 km/h vor Ks-Signalen	84
2.1.3.3.3 Durchfahren gestörter Funkbereiche (DGF)	85
2.1.3.4 Aspekte zur Aufnahme nach ETCS L2 (Transition PZB – ETCS L2)	85
2.1.3.5 Durchrutschwege	87
2.1.3.6 Release Speed	88
2.1.3.7 Aufstarten von Zügen (betrieblicher Aspekt)	89
2.1.3.8 Beanspruchungsmeldung von Fahrwegelementen	89
2.1.3.9 Leveltransitionen ETCS L2 → ETCS L1 LS	89
2.2 Systemkomponente GSM-R	90
2.2.1 Überblick	90
2.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe	90
2.2.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen	92
2.2.2 Methodik/ Anforderungen/ Planungsgrundsätze/ Richtlinien	95
2.2.2.1 Funkversorgungspegel und Zellplanung	96
2.2.2.2 Besonderheiten der Tunnelversorgung	97
2.2.2.3 Anforderungen hinsichtlich der Frequenzplanung, Maximale Frequenzen je Funkzelle	98
2.2.2.4 Anforderungen hinsichtlich QoS	102
2.2.2.5 Anforderungen hinsichtlich Störfestigkeit gegenüber Funknetzen öffentlicher Netzbetreiber	103
2.2.2.6 GSM-R-seitige Übertragungsgeschwindigkeit	103
2.2.2.7 Kapazitive Bedarfe der S-Bahn	104
2.2.2.7.1 Normalbetrieb und Worst Case-Störfallszenario	104
2.2.2.7.2 Weitere Verkehrsanforderungen	108
2.2.2.7.3 Anzahl notwendiger Zeitschlüsse pro Funkzelle	109
2.2.2.8 Auswirkungen der Festnetzanbindung auf die Stabilität eines GSM-R-Netzes	112

2.2.3 Analyse des aktuellen Ist- / Planstandes und mögliche Optimierungsansätze	115
2.2.3.1 Festnetzanbindung der BTS und der BSC	117
2.2.3.2 Funknetzplanung	117
2.2.3.2.1 Bereich S-Zuffenhausen / S-Bad Cannstatt – S-Mitnachtstraße (Nördlicher / Östlicher Zulauf)	118
2.2.3.2.2 Stammstrecke S-Mitnachtstraße – S-Schwabstraße	119
2.2.3.2.3 Bereich S-Schwabstraße – S-Rohr	124
2.2.3.2.4 Bereich S-Rohr – Böblingen / Filderstadt (Südlicher Zulauf)	126
2.2.4 Auswertung der Notwendigkeit und möglichen Redundanzen des GSM-R-Netzes	127
2.2.4.1 Definition möglicher Anlagenredundanzen	128
2.2.5 Reaktionen des GSM-R-Netzes in verschiedenen Ausfallszenarien	135
2.2.5.1 Definition möglicher Ausfallszenarien	136
2.2.5.2 Ausfallszenarien basierend auf dem Ausfall von Systemen	141
2.2.5.3 Mögliche Fehler verursacht durch menschlichen Faktor	142
2.2.6 Optionen möglicher Funkzugangstechnologien für ATO	144
2.2.6.1 Vergleich möglicher Funkzugangstechnologien	144
2.2.7 Bewertung und Empfehlung	165
2.2.8 Ausblick FRMCS mit heutigem Stand	170
2.2.9 Bewertung der GSM-R-Verkehrs- und Kanalkapazitäten	182
2.2.9.1 Realisierbarkeit einer Frequenzplanung auf Basis der erforderlichen Kapazitäten	182
2.2.9.2 Layer Single Coverage mit / ohne Doppelversorgung	183
2.2.9.3 Reaktion bei Änderung der Eingangsgrößen, Reserven	184
2.2.9.4 GPRS	187
2.2.9.5 Begleitende Empfehlungen	187
2.2.9.6 Projektrisiken	188
2.2.9.6.1 Allgemeine Projektrisiken – Telekommunikationsanteil	189
2.2.9.6.2 Allgemeine Technologie- und Implementierungsrisiken	191
2.2.9.7 Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Verbesserung der Betriebsqualität	194
2.3 Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausrüstung	197
2.3.1 Überblick	197

2.3.1.1	Ziele der Hauptaufgabe	197
2.3.1.2	Fazit und Handlungsempfehlungen	197
2.4	Systemkomponente ATO	197
2.4.1	Überblick	197
2.4.1.1	Ziel der Hauptaufgabe	197
2.4.1.2	Fazit und Handlungsempfehlungen	197
2.4.1.3	Methodik und Vorgehensdefinition	202
2.4.2	Grundlegende Definitionen	203
2.4.2.1	Zieldefinition ATO	203
2.4.2.2	ATO-System- und Szenariodefinition	203
2.4.2.2.1	Systembeschreibung	203
2.4.2.2.2	Szenariodefinition	206
2.4.2.3	Definition Spezifikationsbasis	207
2.4.3	Betriebliche Analyse	208
2.4.3.1	Vorgehen	208
2.4.3.2	Relevante ERA-Szenarien	210
2.4.3.3	Nicht-relevante ERA-Szenarien	213
2.4.3.3.1	ATO-Light-Einschränkung	213
2.4.3.3.2	Ungeschützte Bahnübergänge	214
2.4.3.3.3	ATO-Adhäsionsmanagement	214
2.4.4	Funktionsanalyse	215
2.4.4.1	Vorgehen	215
2.4.4.2	Übergreifende ATO-Funktionen	215
2.4.4.2.1	Kommunikationsmanagement	215
2.4.4.2.2	Management von Fahrplänen / Journey Profiles	217
2.4.4.2.3	Management von ATO-Streckenatlas / Segment-Profiles	218
2.4.4.2.4	Bedienung des ATO-Systems	219
2.4.4.2.5	Automatische Türsteuerung durch ATO und ETCS	219
2.4.4.2.6	Schutzstreckenmanagement	220

2.4.4.2.7 Geschwindigkeitsbegrenzung für Bahnhofs durchfahren im Tunnel	220
2.4.4.2.8 Transition GoA1 nach GoA2 und GoA2 nach GoA1 während der Fahrt	220
2.4.4.3 ATO-OB	220
2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität	220
2.4.4.3.2 ATO-OB-Bedienung	221
2.4.4.3.3 Management von Beschleunigungswechseln „Jerk Control“	221
2.4.4.3.4 ATO-OB-Statusmeldungen an ATO-TS – Zeitintervall	221
2.4.4.4 ATO-Funkübertragung	221
2.4.4.5 Fahrzeugintegration (TCMS)	221
2.4.4.5.1 Integration mit Fahr-Brems-Hebel	222
2.4.4.5.2 ATO-Startknopf	222
2.4.4.5.3 Laufzeiten	222
2.4.4.5.4 Bremsen, Beschleunigen, Fahren	223
2.4.4.5.5 Integration mit Fahrzeugdiagnosedaten	224
2.4.4.6 ETCS-OB (Anforderungen)	224
2.4.4.6.1 ETCS-Spezifikationsbasis	224
2.4.4.6.2 Zugdateneingabe ETCS-OB und ATO-OB	224
2.4.5 Weiterführende Aspekte	225
2.4.5.1 Verschleiß-Monitoring	225
2.4.5.2 Blockteilung 30 m vs. 55 m	225
2.4.6 Betriebliche Nutzenbewertung (EBWU)	225
2.4.7 Marktbetrachtung und Erfahrungsaustausch	225
2.4.7.1 Systemverantwortung	226
2.4.8 Potenzialanalyse ATO/TMS	227
2.4.8.1 Funktionale Einschränkungen ATO-Light	227
2.4.8.2 TMS-Definition & vertikale Integration	227
2.4.8.3 Ergebnis Potenzialanalyse ATO/TMS	229
2.4.8.3.1 Dynamisches Infrastrukturmanagement	230
2.4.8.3.2 Übertragung / Verarbeitung dynamische Fahrzeuginformationen	230

2.4.8.3.3 Spezifikationsbasis	230
2.4.8.3.4 Voraussetzungen und Migrationsbetrachtung	230
2.4.8.3.5 Stand TMS-Entwicklung/-Implementierung	232
2.5 Planungsanalyse	232
2.5.1 Überblick	232
2.5.1.1 Ziel der Hauptaufgabe	232
2.5.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen	232
2.5.2 Methodik	234
2.5.3 Detailbeschreibung	235
2.5.3.1 Ergebnisse	235
2.5.3.1.1 Einstiegsbereiche	235
2.5.3.1.2 Wechselwirkungen mit der Fernbahn	238
2.5.3.1.3 Übergang nach L1LS	238
2.5.3.1.4 Hochleistungsblock	239
2.5.3.1.5 Betriebliche Szenarien	240
2.5.3.1.6 Bauausführung	241
2.5.3.2 Handlungsempfehlung	242
2.5.3.2.1 Einstiegsbereiche	242
2.5.3.2.2 Wechselwirkungen mit der Fernbahn	243
2.5.3.2.3 Übergang nach L1LS	243
2.5.3.2.4 Hochleistungsblock	244
2.5.3.2.5 Betriebliche Szenarien	247
2.5.3.2.6 Bauausführung	247
2.5.3.2.7 Überblick Handlungsempfehlungen	249
2.6 Laufzeiten und Verfügbarkeit	250
2.6.1 Überblick	250
2.6.1.1 Ziele der Hauptaufgabe Laufzeiten	250
2.6.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen	251
2.6.1.3 Methodik der Laufzeitermittlung	253

2.6.2	Architektur	255
2.6.3	Detailbeschreibung Relevante Laufzeiten	255
2.6.3.1	Allgemeines	255
2.6.3.2	Fahrstraßenauflösezeit	256
2.6.3.3	Stellbarkeitsprüfung der ZL	256
2.6.3.4	Fahrstraßenbildezeit	256
2.6.3.5	Zeit zur Einstellung der Folgefahrstraße	257
2.6.3.6	Übertragung ESTW – RBC	257
2.6.3.7	Verarbeitungszeit im RBC	257
2.6.3.8	Übertragungszeit RBC – EVC (inkl. MSC-BTS-BSC – Mobile)	258
2.6.3.9	Verarbeitung im EVC inklusive Anzeige am DMI	258
2.6.3.10	Lastenheftvorgaben	258
2.6.4	Laufzeitmessungen	261
2.6.4.1	Messfahrten	261
2.6.4.2	Auswertung von Logfiles	262
2.6.4.2.1	Allgemeines	262
2.6.4.2.2	Auswertungen	263
2.6.5	Befragung der Hersteller zu Laufzeiten	263
2.6.6	Ermittelte Werte zu Laufzeiten	265
2.6.6.1	Vergleich mit anderen Realisierungen	266
2.6.6.1.1	London Thameslink	266
2.6.6.1.2	Mattstetten–Rothrist	266
2.6.6.1.3	S-Bahn München	267
2.6.6.1.4	Zusammenfassung vergleichender Laufzeiten	267
2.6.7	Detailbeschreibung zur Verfügbarkeit	268
2.6.7.1	Lastenheftvorgaben	268
2.6.7.2	Ableitung von Verfügbarkeitsanforderungen für ESTW	269
2.6.7.3	Bewertung der Lastenheftvorgaben	271
2.6.7.4	Maßnahmen zur Risikominimierung	271

2.6.7.5 Analyse von Übertragungslücken in der Datenübertragung zwischen RBC und OBU	276
3 Betriebsanalyse	278
3.1.1 Überblick	278
3.1.1.1 Ziele der Hauptaufgabe	278
3.1.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen	278
3.1.2 Methodik	280
3.1.2.1 Betriebliche Eingangsdaten und Annahmen	281
3.1.2.2 Szenarien	282
3.1.2.2.1 Szenario „ETCS Basis“	283
3.1.2.2.2 Szenario „ETCS+“	283
3.1.2.2.3 Szenario „ATO-Light“	284
3.1.2.3 Prämissen und Randbedingungen	285
3.1.2.4 Einbruchverspätungen und Haltezeitverlängerungen	287
3.1.2.5 Abgleich mit Simulation bei I.NMF 34	288
3.1.2.6 Unterschiede der Modelle	289
3.1.2.7 Aussagen der Simulationen	290
3.1.3 Detailbeschreibung	290
3.1.3.1 Untersuchungsergebnisse	290
3.1.3.1.1 Resultierende Mindestzugfolgezeiten	290
3.1.3.1.1.1 Ks/HV-Signalisierung ohne ETCS	293
3.1.3.1.1.2 ETCS Basis	295
3.1.3.1.1.3 ETCS+	296
3.1.3.1.1.4 ETCS+ mit ATO-Light	299
3.1.3.1.5 Mindestzugfolgezeiten bei Ausfall von ETCS in ETCS+ (mit ATO-Light)	299
3.1.3.1.2 Theoretische Leistungsfähigkeit	301
3.1.3.1.3 Resultate der Betriebssimulation	301
3.1.3.1.4 Simulationsergebnisse der Sensitivitäten	305

3.1.3.1.4.1 Kapazitätsoptimierte Fahrweise der Triebfahrzeugführer bei ETCS+ und ETCS Basis	305
3.1.3.1.4.2 Nutzen höherer Bremsbeschleunigungen	308
3.1.3.1.4.3 Erhöhung der Streckengeschwindigkeit auf 80 km/h bzw. 100 km/h	308
3.1.3.1.4.4 Nutzen einer dichteren Blockteilung am Bahnsteig	310
3.1.3.1.4.5 Auswirkung fehlender ETCS-Ausrüstung bei Zügen des Nahverkehrs	311
3.1.3.2 Handlungsempfehlungen	312
3.1.3.3 Weitere Potenziale	313
3.1.3.4 Risiken	313
4 Ausrüstungsszenarien und Prozesse	314
4.1Ausrüstungsstrategie	314
4.1.1 Erstellung Ausrüstungsszenarien	314
4.1.1.1 Überblick	314
4.1.1.1.1 Ziel der Hauptaufgabe	314
4.1.1.1.2 Fazit und Erkenntnisse	315
4.1.1.2 Methodik	316
4.1.2.1 Szenarienentwicklung	317
4.1.3 Detailbeschreibung	317
4.1.3.1.1 Szenario I – Gestaffelte IBN bis 06/2025	318
4.1.3.1.2 Szenario II – Spätere IBN des Erweiterungsbereich (Ausrüstungsbereiche 2 und 3)	319
4.1.3.1.3 Szenario III – Längere Realisierungszeiten für die Fahrzeugumrüstung	320
4.1.3.1.4 Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur	321
4.1.3.2 Bewertung Ausrüstungsszenarien	323
4.1.3.2.1 Überblick	323
4.1.3.2.2 Methodik	324
4.1.3.3 Detailbeschreibung	325
4.1.3.3.1 Bewertung „Szenario I – Gestaffelte IBN bis 06/2025“	325
4.1.3.3.2 Bewertung „Szenario II – Spätere IBN des Erweiterungsbereichs“	328

4.1.3.3.3 Bewertung „Szenario III – Längere Realisierungszeiten für die Fahrzeugumrüstung“	331
4.1.3.3.4 Bewertung „Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur“	335
4.1.3.3.5 Bewertungsergebnis	338
4.1.4 Ableitung Entscheidungsempfehlungen	339
4.2 Schwerpunkt Prozessdesign	341
4.2.1 Analyse Prozesse, insbesondere Genehmigungsprozess	341
4.2.1.1 Durchführung von erforderlichen Tests	341
4.2.1.2 Zulassung der Infrastruktur (ETCS und ATO)	344
4.2.1.3 Zulassung der Fahrzeugumrüstung (ETCS/ATO und TCMS-Schnittstelle)	346
4.2.1.4 Einkaufs- und Vergabeprozesse	352
4.2.2 Vorschläge Umsetzungsorganisation + Roadmap	354
4.2.2.1 Überblick	354
4.2.2.2 Detailbeschreibung	356
4.2.2.2.1 Programmteam	356
4.2.2.2.2 Roadmap	359
4.2.2.2.3 Nächste Schritte	361
4.2.2.2.4 Risikomanagement	363
5 Kostenschätzung	365
5.1 Kostenschätzung Überblick	365
5.2 Kostenschätzung (Schritt 1)	366
5.2.1 Überblick	366
5.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe	366
5.2.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen	366
5.2.1.3 Methodik	367
5.2.1.3.1 Generell	367
5.2.1.3.2 Kostenstruktur	369
5.2.1.3.3 Kalkulationstool	379
5.2.2 Inputdaten, Prämissen und Quellen	380

5.2.2.1 Inputdaten	380
5.2.2.2 Prämissen und Annahmen	381
5.2.2.3 Risikofaktor und Planungskostenpauschale	384
5.2.2.4 Mengengerüst	385
5.2.3 Detaillierte Auswertung	388
5.3 Kostenschätzung (Schritt 2)	389
5.3.1 Überblick	389
5.3.1.1 Fazit und Handlungsempfehlung	389
5.3.2 Methodik	392
5.3.2.1 Generell	392
5.3.2.2 Betrachtungsräume	393
5.3.2.3 Untersuchte Systemtechniken	394
5.3.2.4 Prinzipielle Kostenstruktur	394
5.3.2.5 Kalkulationstool	395
5.3.3 Inputdaten, Prämissen und Quellen	395
5.3.3.1 Prämissen und Annahmen	395
5.3.3.2 Inputdaten, Methoden und Quellen	396
5.3.3.3 Mengengerüste	398
5.3.4 Detaillierte Kostenstruktur	399
5.3.4.1 Delta zur Kostenermittlung der Stammstrecke	399
5.3.4.2 Zentraler Betrachtungsraum	400
5.3.4.2.1 ESTW Kosten	402
5.3.4.2.2 ETCS Kosten	403
5.3.4.3 Erweiterte Untersuchungsbereiche Bad Cannstatt, Zuffenhausen	403
5.3.4.3.1 GSM-R Kosten Bad Cannstatt	404
5.3.4.4 Erweiterter Betrachtungsraum Neuhausen	404
5.3.4.4.1 ETCS-Kosten	405
6 Marktanalysebetrachtungen und Erfahrungen anderer Bahnen	407

6.1 Marktanalyse Produkte	407
6.1.1 Ziel der Marktanalyse	407
6.1.2 Generelle Markteinschätzung	408
6.1.3 Fazit und Erkenntnisse	409
6.1.3.1 Markt-/ Projektanforderungen	409
6.1.3.2 Streckenseitige Systemkomponenten	410
6.1.3.3 Fahrzeugseitige Systemkomponenten	412
6.1.3.4 Systemkomponente „ATO over ETCS“	413
6.1.4 Methodik	413
6.2 Erfahrungsaustausch anderer Bahnen	413
6.2.1 Überblick	414
6.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe	414
6.2.1.2 Fazit	414
6.2.2 Untersuchte Projekte	414
6.2.3 Zusammenfassung der vergleichbaren Projekte	416
6.2.4 Persönlicher Erfahrungsaustausch	419
6.2.5 Erfahrungsaustausch mit Infrabell	419
6.2.6 Erfahrungsaustausch mit SBB	419
6.2.7 Erfahrungsaustausch mit ÖBB	420
7 Anhang	422

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Betrachtungsraums	36
Abbildung 2: Durchschnittliche Verspätungsentwicklung im Betrachtungsraum in verschiedenen Szenarien	38
Abbildung 3: Weitere Qualitätspotenziale auf Basis von ETCS+ und ATO-Light	39
Abbildung 4: Kostenüberblick – *) infrastrukturseitiges Zusatzbudget für Pilotprojekt.....	40
Abbildung 5: Drei Bausteine des Pilotprojektes des Programms "Digitale Schiene Deutschland" in der Region Stuttgart	44
Abbildung 6: Betrachtungsraum der Untersuchung	45
Abbildung 7: Ausrüstungsszenario ETCS+ am Beispiel des Abschnitts Feuersee – Stadtmitte.....	46
Abbildung 8: Übersicht über die untersuchten technischen Szenarien.....	47
Abbildung 9: Übersicht untersuchte Ausrüstungsszenarien (Definition).....	48
Abbildung 10: Ergebnisse der Betriebsanalyse	50
Abbildung 11 Entwicklung der mittleren Verspätungsänderung für die technischen Szenarien im Betrachtungsraum (Baustein 1).....	51
Abbildung 12 Kostenschätzung für den Betrachtungsraum (Baustein 1);	54
Abbildung 13: Bedingungen für die Herleitung des Mindestabstandes.....	85
Abbildung 14: Wert von $d_{PZB\text{Ant}}$ (15 m)	86
Abbildung 15: Methodik zur Untersuchung der GSM-R-Kanalkapazitäten.....	96
Abbildung 16: Schematische Darstellung der Frequenzwiederbenutzung bei linienhafter Funkausbreitung	98
Abbildung 17: Idealisierte Darstellung der Signalpegel bei Schlitzkabelsystemen, Einfachversorgung (oben) bzw. Doppelversorgung (unten)	100
Abbildung 18: Erzielbare Bandbreite verschiedener GPRS-Coding Schemas.....	101
Abbildung 19: Definition von Normalbetrieb und Worst-Case-Störfallszenario für Kapazitätsuntersuchungen	104
Abbildung 20: Anzahl Züge pro Funkzelle im Normalbetrieb und im Worst Case-Störfall	107
Abbildung 21: Verkehrsberechnungen je Funkzelle für Normalbetrieb und Worst Case-Störfallszenario	111
Abbildung 22: Mögliche Einbindung einer Ersatz-BSC in die GSM-R-Netzwerkstruktur und abwechselnde BTS-BSC-Anbindung	113

Abbildung 23: Mögliche Anbindung einer Ersatz-BSC an die GSM-R-Netzwerkstruktur im Projekt S-Bahn Stuttgart.....	114
Abbildung 24: Beispielhafte Übersicht eines optional optimierten GSM-R-Funknetzes für S-Bahn-ETCS, Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap	116
Abbildung 25: Funknetz Nördlicher/ Östlicher Zulauf (Ist- / Planstand links; Optimierungspotenzial rechts), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap.....	118
Abbildung 26: Versorgungskonzept Stammstrecke ausschließlich über konventionelles Antennensystem (Option A)	120
Abbildung 27: Versorgungskonzept Stammstrecke mit durchgängigen Schlitzkabeln im Tunnel (Option B)	121
Abbildung 28: Schematische Darstellung der BTS-Verteilung zwischen Schwabstraße (TSS) und Bad Cannstatt (TSC) in Kombination mit Schlitzkabeln	121
Abbildung 29: Funknetz Schwabstraße – Rohr (Ist- / Planstand links; Optimierungspotenzial rechts), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap.....	124
Abbildung 30: Optionales Versorgungskonzept S-Schwabstraße – S-Rohr (Option B im Tunnel analog Stammstrecke).....	125
Abbildung 31: Funknetz Südlicher Zulauf (Ist- / Planstand bzw. Optimierungspotenzial), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap.....	126
Abbildung 32: Vereinfachte Darstellung der GSM-R-Architektur zur Verdeutlichung der Reaktionen des Netzes in Ausfallszenarien.....	135
Abbildung 33: Technologiebewertung und ATO-Kostenvergleich (Investition + Betrieb)	166
Abbildung 34: Optionen paketvermittelter ATO-Datenübertragung	168
Abbildung 35: W-LAN über Routeranbindung, Quelle DB AG	168
Abbildung 36: ETSI Release 16 Zeitplan, Quelle 3GPP und ETSI.....	172
Abbildung 37: IMT 2020-Zeitplan für 5G-Entwicklung, Quelle ITU	173
Abbildung 38: FRMCS (EVORA) Entwicklung basierend auf 3GPP-5G-Entwicklungsplanung, Quelle: ERA	175
Abbildung 39: Beteiligung europäischer Institutionen an FRMCS-Spezifikationen, Quelle: ERA, ETSI, UIC und FRMCS Industrie – ROC-IG	176
Abbildung 40: Erweiterte, weltweite 5G-Koordination, Quelle: ETSI.....	176
Abbildung 41: Übersicht der FRMCS-Netzstruktur, Quelle: ERA, UIC, GSM-R- und FRMCS-Industrie	177
Abbildung 42: Grobstruktur der Slicing-Funktion.....	178

Abbildung 43: Szenarien für zukünftige FRMCS-Frequenzbänder, Quelle: CEPT-WG-FM56, UIC, ERA, ETSI	180
Abbildung 44: Beispielhafte Frequenzgruppen und deren Anordnung in exemplarischen Streckenbereichen und Versorgungskonzepten	183
Abbildung 45: Verkehrsbelastung bzw. Reserven in einem optimierten Funknetzdesign.....	186
Abbildung 46: ATO over ETCS; prinzipielle Systemarchitektur (Subset 125)	205
Abbildung 47: Roadmap der ATO-Spezifikation der ERA	208
Abbildung 48: ATO/TMS; prinzipielle Systemarchitektur.....	228
Abbildung 49: Potenzieller Weg für die Implementierung von ATO/TMS	231
Abbildung 50: Arbeitspakete der AG Planung.....	235
Abbildung 51: Mögliche Blockteilung im Haltebereich für ETCS-geführte Fahrzeuge (Prinzipskizze)	239
Abbildung 52: Einstiegsbereich Stuttgart Nordbahnhof, Einstiegssignale 42G und 42GG, Quelle: EP ETCS.....	242
Abbildung 53: Veranschaulichung des Bremskurvensprungs, mit dem z. B. im Bereich Bad Cannstatt gerechnet werden muss	243
Abbildung 54: kein LBK zwischen Start und Ende der Rangierstraße.....	245
Abbildung 55: Anordnung der Streckenausrüstung am Beispiel des Szenarios "ETCS-Basis".....	246
Abbildung 56: Anordnung der Blockkennzeichen am Bahnsteig	248
Abbildung 57: Ermittelte Laufzeiten im Vergleich mit anderen Realisierungen	252
Abbildung 58: Übertragungskomponenten und -wege, die Einfluss auf die End-to-End-Laufzeit haben	254
Abbildung 59: betrachtete Architektur	255
Abbildung 60: Betrachtete Architektur des Integrationsgutachtens (Quelle: Integrationsgutachten)	260
Abbildung 61: NeuPro-Laufzeiten	261
Abbildung 62: Auszug aus Subset-041.....	261
Abbildung 63: Messaufbau für Messfahrten VDE8	262
Abbildung 64: Aussagen der Hersteller zu Laufzeiten.....	264
Abbildung 65: Übersicht Laufzeiten	265
Abbildung 66: Zusammenfassung vergleichender Laufzeiten.....	267

Abbildung 67: Mittlere Verspätungsänderung über alle Zugfahrten	279
Abbildung 68: Folie I.NMF 34 für Ergebnispräsentation Schritt 2	289
Abbildung 69: Einbruchsverspätungen bei I.NMF 34 und VIA-Con.....	290
Abbildung 70: Durchschnittliche Mindestzugfolgezeiten der untersuchten Szenarien.....	291
Abbildung 71: Auswirkung geringerer Mindestzugfolgezeiten im Fahrplan (Konventionelle Signalisierung und ETCS+)	292
Abbildung 72: Sperrzeitentreppen zwischen Schwabstraße und Vaihingen.....	292
Abbildung 73: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße unter Ks-Signalisierung	293
Abbildung 74: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße unter Ks-Signalisierung	294
Abbildung 75: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m	295
Abbildung 76: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m	296
Abbildung 77: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m	297
Abbildung 78: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m	297
Abbildung 79: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS+ in signalgeführter Rückfallebene.....	300
Abbildung 80: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS+ in signalgeführter Rückfallebene.....	300
Abbildung 81: Durchschnittliche Absolut-Verspätungen je Betriebsstelle zwischen Bad Cannstatt und Flughafen	304
Abbildung 82: Zeitliche Komponenten der ETCS-Bremskurven im Vergleich zur Ks-Signalisierung bei Bremsung aus 60 km/h; Grundlage aller Untersuchungen ist die SRS 3.6.0.....	306
Abbildung 83: Abschnittsweise zusätzlich generierbare Fahrzeitreserven durch eine Geschwindigkeitserhöhung	309
Abbildung 84: Nutzennachweis einer Geschwindigkeitserhöhung für Folgezüge	310
Abbildung 85: Trajektorien eines am Bahnsteig nachrückenden Zuges ohne (links) und mit ATO in Abhängigkeit der Blocklänge (30 vs. 50 m-Block).....	311
Abbildung 86: Ganzheitliche Weiterentwicklung von Netz und Technik in Etappen auf Trägersystem ETCS	312
Abbildung 87: Szenario I – gestaffelte Inbetriebnahme bis 12/2025	319

Abbildung 88: Szenario II – Spätere Inbetriebnahme des Erweiterungsbereichs	320
Abbildung 89: Szenario III – Längere Realisierungszeit für die Fahrzeugumrüstung	321
Abbildung 90: Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur	322
Abbildung 91: Szenarien-Vergleich der Implementierungskonzeption	322
Abbildung 92: Szenarienübersicht: Vergleich und Empfehlung	323
Abbildung 93: Szenarien: Vergleich und Empfehlung für Szenario I	340
Abbildung 94: Vereinfachte IBG aus Basis einer Bauartzulassung, Quelle: VV IBG Fahrzeuge, EBA 2010	348
Abbildung 95: Einbau/Umrüstung fahrzeugseitiger Zugsicherungsanlagen (ZZS), Quelle: BB IBG, EBA 2010	349
Abbildung 96: Organisationsempfehlung Programmteam S-Bahn Stuttgart (Steuerkreis, Gremium, Aufgaben).....	357
Abbildung 97: Organisationsempfehlung Programmteam S-Bahn Stuttgart, Gesamtbild	358
Abbildung 98: Roadmap-Übersicht – Umsetzung des priorisierten Szenarios I.....	359
Abbildung 99: Roadmap Infrastruktur – Zeitplan zur Umsetzung des priorisierten Szenarios I	360
Abbildung 100: Roadmap Fahrzeuge – Zeitplan zur Umsetzung des priorisierten Szenarios I	361
Abbildung 101: Roadmap – Nächste Schritte und erforderliche Aktivitäten 2018 und 2019.....	362
Abbildung 102: Projektrisiken inkl. Eintrittswahrscheinlichkeit.....	364
Abbildung 103: Prinzipielle Darstellung: Kostenermittlung als Delta-Betrachtung der Ausrüstungsszenarien	368
Abbildung 104: Kostenstruktur des Szenarios ETCS-Basis und beispielhafte Zuordnung einzelner Inputdaten	369
Abbildung 105: Kostenschätzung Stammstrecke und zentraler Untersuchungsbereich	390
Abbildung 106: Kostenschätzung Stammstrecke und zentraler Betrachtungsraum	392
Abbildung 107: Zentraler Betrachtungsraum mit der Stammstrecke, sowie Vaihingen und Flughafen.....	393
Abbildung 108: Vergleich zum Reifegrad der ESTW bei der DB Netz der verschiedenen Lieferanten	411
Abbildung 109: Vergleich zum Reifegrad RBC bei der DB Netz der verschiedenen Lieferanten	412

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)	55
Tabelle 2: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente GSM-R.....	57
Tabelle 3: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausstattung	59
Tabelle 4: Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung von ATO bei der S-Bahn Stuttgart	61
Tabelle 5: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Planungsanalyse	65
Tabelle 6: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Laufzeiten und der Verfügbarkeiten.....	66
Tabelle 7: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Betriebsanalyse.....	67
Tabelle 8: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie.....	68
Tabelle 9: Handlungsempfehlungen für die Durchführung von Tests.....	69
Tabelle 10: Handlungsempfehlungen für Zulassung der Infrastruktur	71
Tabelle 11: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Fahrzeuge	72
Tabelle 12: Handlungsempfehlungen für die Vergabe	73
Tabelle 13: Handlungsempfehlungen abgeleitet aus der Kostenermittlung	74
Tabelle 14: Handlungsempfehlung aus Sicht des zweiten Schrittes der Kostenschätzung.....	75
Tabelle 15: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ETCS.....	78
Tabelle 16: Inputdaten der Technikanalyse	81
Tabelle 17: Randbedingungen bzgl. Override am Ort des Levelwechsels.....	86
Tabelle 18: Berechnung Ort des Levelwechsels	87
Tabelle 19: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente GSM-R.....	93
Tabelle 20: Planungswerte für Gleichkanalstörfestigkeit (Tunnel / Freifeld).....	99
Tabelle 21: Gleichkanalstörfestigkeit als Funktion der Frequenzwiederbenutzung	99
Tabelle 22: Vorgabe Frequenzwiederbenutzung k entsprechend des Einsatzes	100
Tabelle 23: Bitfehlerraten und korrespondierende RxQual-Werte.....	102
Tabelle 24: Streckenbereiche mit wesentlichen Kenngrößen zur Berechnung der Züge pro Funkzelle.....	106
Tabelle 25: Ermittelte zukünftige, exemplarische Verkehrsanforderungen	108
Tabelle 26: Bewertung möglicher Optionen – Funkversorgung Stammstrecke.....	124

Tabelle 27: Anforderung der DB an die Zuverlässigkeit des GSM-R-Dienstes.....	127
Tabelle 28: Verfügbarkeitswerte für GSM-R-Komponenten	127
Tabelle 29: Definition möglicher Ausfallszenarien – passive Elemente	136
Tabelle 30: Definition möglicher Ausfallszenarien – aktive Elemente	137
Tabelle 31: Definition möglicher Ausfallszenarien – BTS-Level.....	138
Tabelle 32: Definition möglicher Ausfallszenarien – BSC-Level	139
Tabelle 33: Definition möglicher Ausfallszenarien – Core Netzwerk (MSC-S, MGW, TRAU, GGSN*, SGSN*, SCP/IN, HLR) -Level.....	140
Tabelle 34: Ausfallszenarien basierend auf dem Ausfall von Systemen	141
Tabelle 35: Ausfallszenarien – mögliche Fehler verursacht durch menschlichen Faktor	142
Tabelle 36: Definition möglicher ATO-Risikoszenarien – ATO-System – Kommunikationsteil	161
Tabelle 37: Definition möglicher Ausfallszenarien – ATO-System – Kommunikationsteil	163
Tabelle 38: Definition möglicher Technologie- und Implementierungsrisiken GSM-R/FRMCS	191
Tabelle 39: Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Stabilisierung des Fahrplans	194
Tabelle 40: Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung von ATO bei der S-Bahn Stuttgart	198
Tabelle 41: Definition der Automatisierungsgrade von ATO	204
Tabelle 42: ATO-Spezifikationsreferenzen	207
Tabelle 43: Definition von relevanten ERA-ATO-Szenarien.....	210
Tabelle 44: Ausschluss von nicht-relevanten ERA-ATO-Szenarien.....	213
Tabelle 45: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Planungsanalyse	232
Tabelle 46: Abstände Einstiegssignal – Folgesignal (in der Grundstufe – nur Stammstrecke)	236
Tabelle 47: Abstände Einstiegssignal – Folgesignal (in der vollen Ausbaustufe)	237
Tabelle 48: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Laufzeiten und der Verfügbarkeiten.....	253
Tabelle 49: Laufzeitvorgaben entsprechend BTSF	259
Tabelle 50: Vergleich der Anforderungen mit den Werten des Integrationsgutachtens.....	260
Tabelle 51: Verfügbarkeitsangaben aus E&E-Papier "Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten"	269
Tabelle 52: Verfügbarkeitskennwerte für ESTW	270
Tabelle 53: Simulationsergebnisse der Szenarien	279

Tabelle 54: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Betriebsanalyse	280
Tabelle 55: Eingangsdaten der Systemzeiten der Szenarien	285
Tabelle 56: Haltezeitverlängerungen gemäß Ril 405 - hohe Verspätungsniveaus.....	287
Tabelle 57: Einbruchverspätungen je Linie und Richtung	287
Tabelle 58: Vergleich der Mindestzugfolgezeiten der Simulationsmodelle in Fahrtrichtung Norden	288
Tabelle 59: Vergleich der Simulationsmodelle in Fahrtrichtung Süden	288
Tabelle 60: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter konventioneller Signalisierung	294
Tabelle 61: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter konventioneller Signalisierung	295
Tabelle 62: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter ETCS+	298
Tabelle 63: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter ETCS+	298
Tabelle 64: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter ETCS+ mit ATO-Light	299
Tabelle 65: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter ETCS+ und ATO-Light	299
Tabelle 66: Theoretische Leistungsfähigkeit der Szenarien in Zügen pro Stunde.....	301
Tabelle 67: Auswertungsräume der Linien.....	302
Tabelle 68: Globale Verspätungskennwerte der Szenarien in Schritt 2	303
Tabelle 69: Globale Verspätungskennwerte der Szenarien im ersten Schritt.....	305
Tabelle 70: Potenzial der Wahl des Bremseinsatzpunktes unter ETCS	307
Tabelle 71: Potenzial höherer Bremsbeschleunigungen	308
Tabelle 72: Verspätungsdaten ETCS+ im gesamten Betrachtungsraum mit und ohne ETCS-Ausstattung im Nahverkehr	311
Tabelle 73: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie.....	315
Tabelle 74: Bewertungsparameter für die Bewertung der Ausrüstungsszenarien	324
Tabelle 75: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario I.....	325
Tabelle 76: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario II.....	328
Tabelle 77: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario III.....	331
Tabelle 78: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario IV	335
Tabelle 79: Bewertungsergebnisse aller vier Ausrüstungsszenarien	338
Tabelle 80: Handlungsempfehlungen für die Durchführung von Tests	342

Tabelle 81: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Infrastruktur	345
Tabelle 82: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Infrastruktur	351
Tabelle 83: Handlungsempfehlungen für die Vergabe.....	353
Tabelle 84: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie.....	354
Tabelle 85: Überblick Gesamtergebnis Kostenermittlung	365
Tabelle 86: Gesamtkosten Szenarien ETCS Basis und ETCS+.....	366
Tabelle 87: Handlungsempfehlungen abgeleitet aus der Kostenermittlung	366
Tabelle 88: Strukturierung der Kostenschätzung	370
Tabelle 89: Übersicht über die Quellen und Inputdaten für die Kostenermittlung	380
Tabelle 90: Der Kostenermittlung zugrunde gelegte Prämisseen und Annahmen	381
Tabelle 91: Pauschale Parameter für Risikoaufschlag und pauschale Planungskosten nach System- und Standardkategorien je Szenario	384
Tabelle 92: Mengengerüste der Kostenkalkulation Modulvertrag ETCS (siehe Kapitel 5.2.2.1, MV4 ETCS Kostenkalkulation).....	385
Tabelle 93: Mengengerüste der PSU Kostenschätzung (siehe Kapitel 5.2.2.1, PSU Kostenschätzung)	387
Tabelle 94: Überblick Gesamtergebnis Kostenermittlung	390
Tabelle 95: Handlungsempfehlung aus Sicht des zweiten Schrittes der Kostenschätzung.....	391
Tabelle 96: Berücksichtigte Systemtechniken	394
Tabelle 97: Prämisseen und Annahmen für die Kostenschätzung im zweiten Betrachtungsraum	395
Tabelle 98: Inputdaten, Methoden und Quellen für die Kostenermittlung	396
Tabelle 99: Mengengerüste aller Betrachtungsräume (Format ETCS-Kalkulationstool).....	398
Tabelle 100: Detaillierte Kostenstruktur des zentralen Betrachtungsraums	400
Tabelle 101: Aufschlüsselung der Kostenarten, die im Kalkulationstool xSTW berücksichtigt werden	402
Tabelle 102: Detaillierte Kostenstruktur der Ausrüstungsbereiche 4 (Bad Cannstatt) und 5 (Zuffenhausen)	403
Tabelle 103: Detaillierte Kostenstruktur des erweiterten Betrachtungsraumes Neuhausen.....	404
Tabelle 104: Geforderte Spezifikation je Systemkomponente für das Szenario ETCS+ und Fz-Ausrüstung mit ATO-OBU.....	409
Tabelle 105: Projektinformationen Thameslink	416

Tabelle 106: Projektinformationen S-Bahn Barcelona	416
Tabelle 107: Projektinformationen S-Bahn Wien.....	417
Tabelle 108: Projektinformationen Wuppertaler Schwebebahn	417
Tabelle 109: Projektinformationen S-Bahn-Linie Mexico City - Toluca.....	418
Tabelle 110: Projektinformationen S-Bahn Sydney.....	418
Tabelle 111: Projektinformationen Ayalon Korridor	419

0 Management Summary

0.1 Summary

Die Ergebnisse der ETCS-Untersuchung auf der S-Bahn Stuttgart zeigen:

- Die Einführung von ETCS Level 2 und ATO GoA2 sind bei der S-Bahn Stuttgart technisch beherrschbar und betrieblich sinnvoll.
- Als **Innovationsprojekt** bietet es eine einmalige Chance für die Weiterentwicklung der S-Bahn Stuttgart.

Nur auf dieser Grundlage kann:

- zukünftig ein stabiler und pünktlicher S-Bahn-Verkehr in der Region Stuttgart gewährleistet werden.
- modernste Verkehrsleittechnik (TMS – Traffic Management System) mit automatisiertem Störungsmanagement entwickelt werden.
- die größtmögliche Kapazität der vorhandenen Infrastruktur erzielt werden.
- die politische Vorgabe zur Angebotsausweitung und zur Attraktivitätssteigerung des ÖPNV umgesetzt werden.
- ein Beitrag zur Luftreinhaltung geleistet werden.

0.2 Veranlassung und Ziele der Untersuchung

Die S-Bahn-Stammstrecke, die in der Hauptverkehrszeit von 24 Zügen/Stunde und Richtung befahren wird, prägt das S-Bahn-Netz in der Region Stuttgart maßgeblich. Das in den letzten Jahren deutlich gestiegene Fahrgastaufkommen führt zu einer erheblichen Mehrbelastung der Stammstrecke mit Risiken und Auswirkungen auf das Gesamtsystem, insbesondere hinsichtlich der Betriebsqualität. Gegenstand der Untersuchung war es, Lösungsansätze für die Erreichung u. a. folgender Ziele zu finden:

- **Einen stabilen und pünktlichen S-Bahn-Verkehr in der Region Stuttgart gewährleisten.** Hierfür ist u. a. die Möglichkeit zu schaffen, die Züge im Verspätungsfall dichter hintereinander und schneller fahren zu lassen.
- **Die politischen Vorgaben zur Angebotsausweitung und zur Attraktivitätssteigerung des ÖPNV umsetzen,** in dem die Voraussetzungen geschaffen werden, zukünftig mehr Trassen anzubieten.
- **Investitionen zukunftssicher gestalten,** indem die neueste Leit- und Sicherungstechnik (ETCS Level 2) an der Strecke und auf den Fahrzeugen installiert wird. Sie bildet das Trägersystem, um erstmals in Deutschland in hochbelasteten S-Bahnssystemen das teilautomatisierte Fahren (ATO GoA2) einzuführen. Überdies können weitere Potenziale ausgeschöpft werden (u. a. optimierte Systemlaufzeiten, vorausschauendes Fahren mit Verkehrsleitsystemen, optimiertes Bremsen, besonders dichte Blöcke). Eine Nutzung all dieser Potentiale würde es ermöglichen, deutlich mehr als 24 Züge pro Stunde in der Stuttgarter S-Bahn-Stammstrecke fahren zu lassen.

0.3 Betrachtungsraum

Die Untersuchung wurde in folgenden Abschnitten des S-Bahn-Netzes durchgeführt:

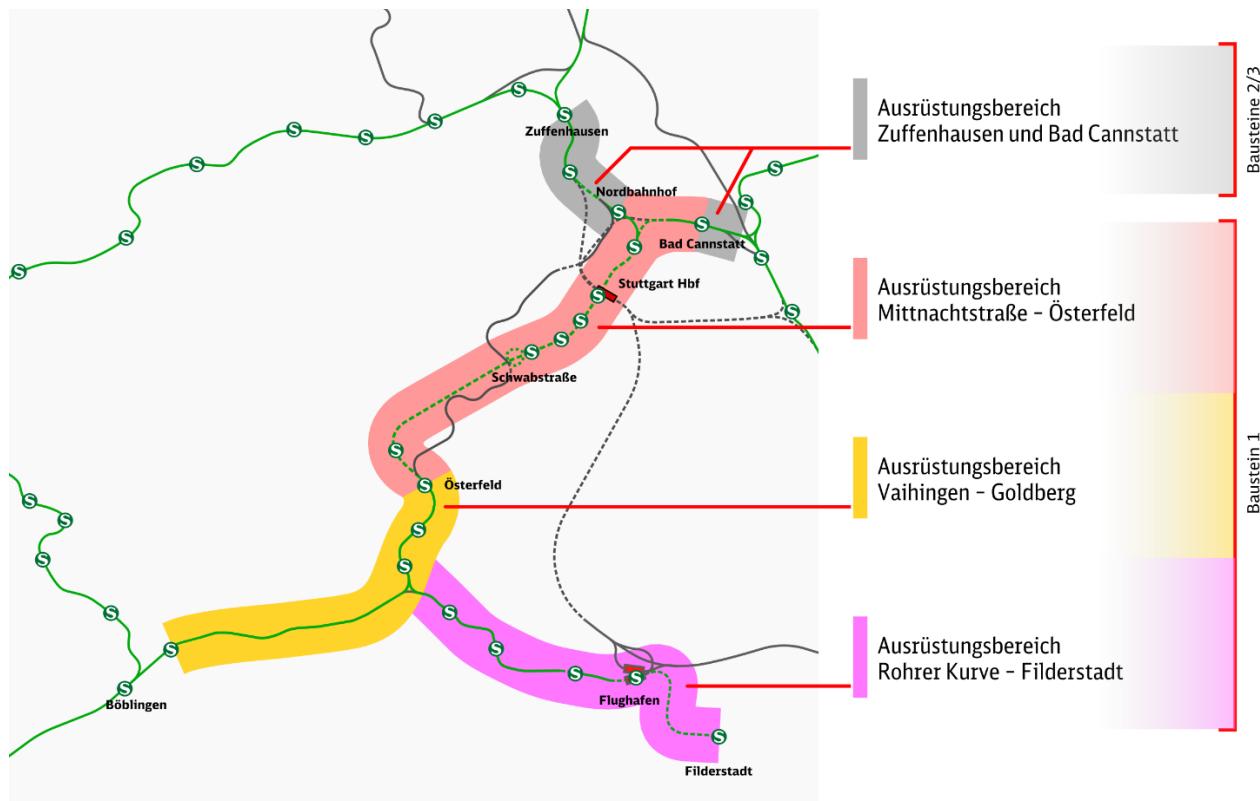


Abbildung 1: Darstellung des Betrachtungsraums

0.4 Ausrüstungsszenarien, Ergebnisse der Untersuchung

0.4.1 Ausrüstungsszenarien

In Schritt 1 der Untersuchung wurden ETCS-Ausrüstungsszenarien untersucht. Im März 2018 wurde entschieden, im weiteren Verlauf der Untersuchung das „ETCS+“-Szenario als Trägersystem zu nutzen. ETCS+ kann wie folgt beschrieben werden:

- ETCS Level 2 basierend auf den europäischen Standards (TSI, ETCS-Baseline 3)
- ETCS ist das führende Signalsystem (der Triebfahrzeugführer fährt anzeigengeführt; Lichtsignale sind dunkelgeschaltet).
- Das bisher geplante Ks-Signalsystem wird nur noch als technische Rückfallebene konzipiert (deutlich weniger Außensignale).

ETCS+ bedingt dabei die ETCS-Nachrüstung der gesamten S-Bahn-Flotte bis Mitte 2025. Hilfsweise kann das Relaisstellwerk (RSTW), dass die heutige Stammstrecke steuert, zeitlich befristet weiter genutzt und die ETCS-Inbetriebnahme damit hinausgezögert werden. Um diese Ziele zu erreichen, sollten geeignete organisatorische Strukturen geschaffen werden, in denen Fahrzeug- und Infrastrukturseite im Sinne des Gesamtsystems eng zusammenarbeiten.

Weiterhin wurden die Potentiale von ATO (Automatic Train Operation) in der Ausprägung GoA2 (Grade of Automation 2) auf Basis von ETCS+ untersucht. Die ATO mit GoA2 besitzt folgende wesentliche Eigenschaften:

- Im ATO-Betrieb übernimmt der Triebfahrzeugführer die Fahrwegbeobachtung sowie Abfertigung und löst die Abfertigung aus. Er kann jederzeit die Führung des Zuges übernehmen.
- Der Zug fährt – *beschleunigt und bremst* – automatisch. ATO nutzt die ETCS- Bremskurven optimal aus, besser, als ein Mensch dies kann.
- ATO wird zukünftig optimal betrieben, wenn die Informationen für das Führen des Zuges aus einem Leitsystem kommen, welches alle betrieblichen und technischen Bedingungen im Streckennetz und von den Fahrzeugen in Echtzeit kennt, verarbeitet und für die Steuerung des jeweiligen Zuges an das Stellwerk und ETCS übermittelt. Diese Verkehrsleittechnik (sog. Traffic Management System (TMS)) für Eisenbahnen ist international in mehreren Ländern und Projekten in der Entwicklung.

Vor diesem Hintergrund wird folgende Ausrüstungsstrategie für die S-Bahn Stuttgart empfohlen:

ETCS Level 2 und ATO auf Basis der bis 2025 verfügbaren Systemkomponenten zu installieren. D. h.,

1. *ETCS+ als Trägersystem zu installieren*
2. *ATO in der projektspezifischen Ausprägung „ATO-Light“ umzusetzen*
Fahrzeugseitig wird komplette ATO-Einrichtung installiert. Streckenseitig werden Fahrplan- und Infrastrukturdaten, auf deren Grundlage ATO den Zug führt, von einem Streckenserver zu Beginn der Zugfahrt einmalig übermittelt. Dieser ATO-Server erlaubt keine dynamische Anpassung des Profils (es werden nur fahrplanbasierte, statische Profile übermittelt).

Für den Zeitraum ab 2028 und den dann verfügbaren Systemen wird folgendes Szenario empfohlen:

3. *Das Zukunftsszenario ATO/TMS im Zeithorizont 2028 realisieren*
Dieses ermöglicht eine dynamische Steuerung und hebt damit zusätzliche betriebliche Potentiale. ATO/TMS kann auf Basis von ETCS+ mit „ATO-Light“ implementiert werden. Die Systemkomponenten Stellwerk/ETCS und die Fahrzeugausrüstung, die für die Inbetriebnahme 2025 installiert werden, sind für eine Hochrüstung auf ATO/TMS geeignet. Als notwendige technische Basis muss GSM-R durch das zukünftige Funksystem auf Basis der 5G-Technologie (FRMCS, Future Railway Mobile Communication System) ersetzt werden.

0.4.2 Ergebnisse

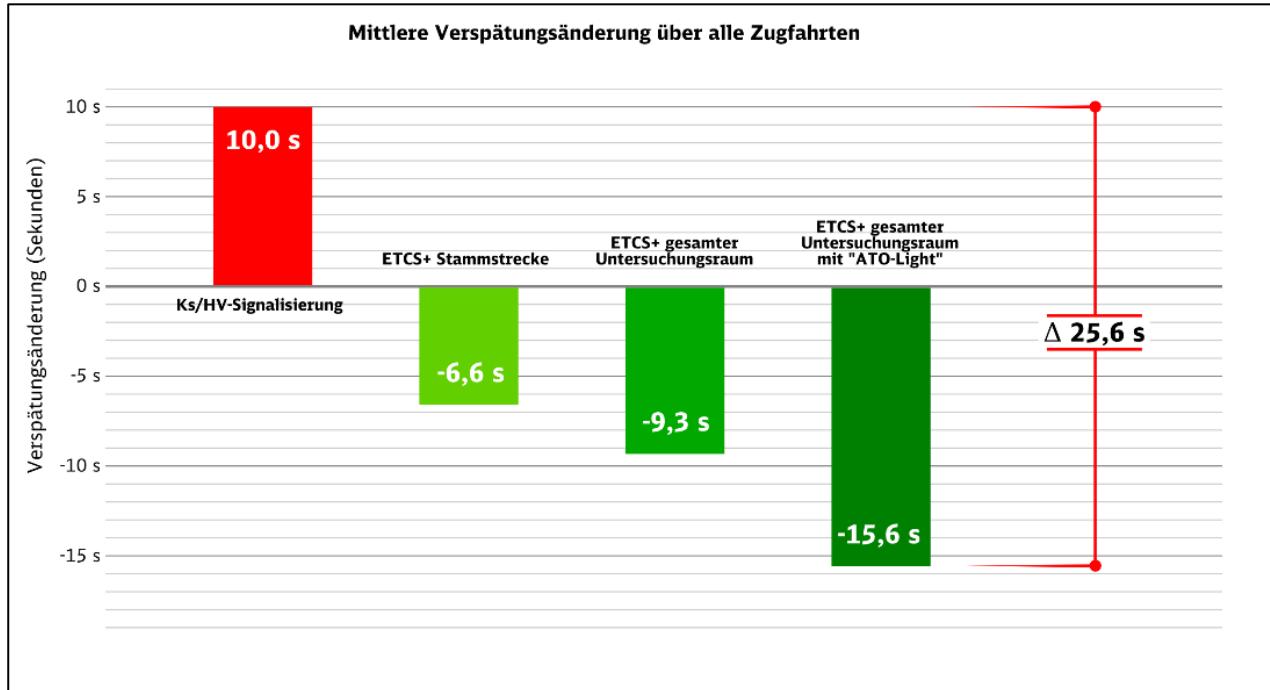


Abbildung 2: Durchschnittliche Verspätungsentwicklung im Betrachtungsraum in verschiedenen Szenarien

Für die Inbetriebnahme im Jahr 2025 wird die Ausrüstung des Bereichs der Stammstrecke, Hasenbergtunnel (zwischen Schwabstraße (a) und Österfeld (a)) und der Abschnitte Vaihingen Richtung Flughafen/Filderstadt bzw. Böblingen mit ETCS+ und „ATO-Light“ empfohlen. In diesem Bereich zeigt die Untersuchung folgende Ergebnisse, welche auch in der Abschlusspräsentation (Anhang 11) vorgestellt wurden:

4. Durch die Anwendung von ETCS+ im erweiterten Betrachtungsraum steigt die Betriebsqualität.
Als Kennzahl für die Betriebsqualität wurde in Absprache mit der Fachabteilung für Fahrwegkapazität von der DB Netz AG, die durchschnittliche Verspätungsentwicklung je Zug herangezogen. Im Vergleich zur Ks-Signalisierung nimmt entlang des Betrachtungsraums die Verspätung im Szenario ETCS+ durchschnittlich um 19,3 s ab.
5. „ATO over ETCS“ im Szenario „ATO-Light“ erhöht die Betriebsqualität weiter.
In Verbindung mit „ATO-Light“ baut „ETCS+“ im Vergleich zur Ks-Signalisierung 25,6 s weniger Verspätung auf, sodass bis zu 15,6 s Verspätung abgebaut werden können.
6. Mit S-Bahn-Zugfolgezeiten von unter 2,5 Minuten zwischen Schwabstraße, Vaihingen und Flughafen ebnet ETCS+ den Weg für Angebotsverbesserungen, beispielsweise durch die Führung zusätzlicher Linien von der Schwabstraße bis Vaihingen.
7. Die Systemkonzeption ist mit heutiger ESTW- und mit DSTW-Technik umsetzbar.
8. GSM-R ist mit entsprechender Umrüstung auf den Daten-Funk im gesamten Betrachtungsraum für die Szenarien ausreichend.
9. Eine Inbetriebnahme von „ATO-Light“ im erweiterten Betrachtungsraum im Jahr 2025 ist erreichbar.

Im Übrigen ebnet ETCS den Weg für Geschwindigkeitserhöhungen in der Stammstrecke und im Hasenbergtunnel, die weiter zum Verspätungsabbau beitragen. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Potentiale zur Verbesserung der Betriebsqualität auf Grundlage von ETCS aufgezeigt.

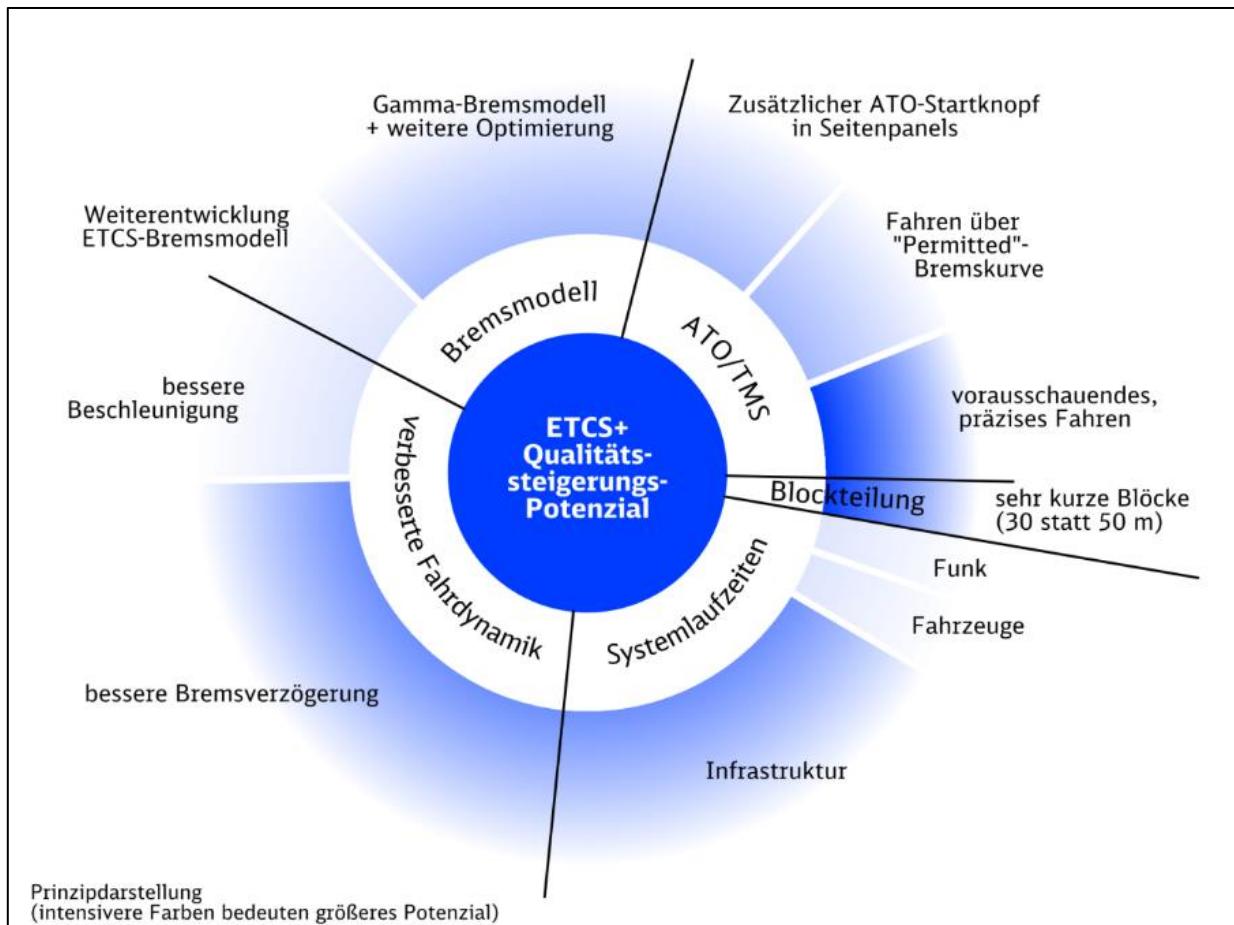


Abbildung 3: Weitere Qualitätspotenziale auf Basis von ETCS+ und ATO-Light

0.4.3 Kosten

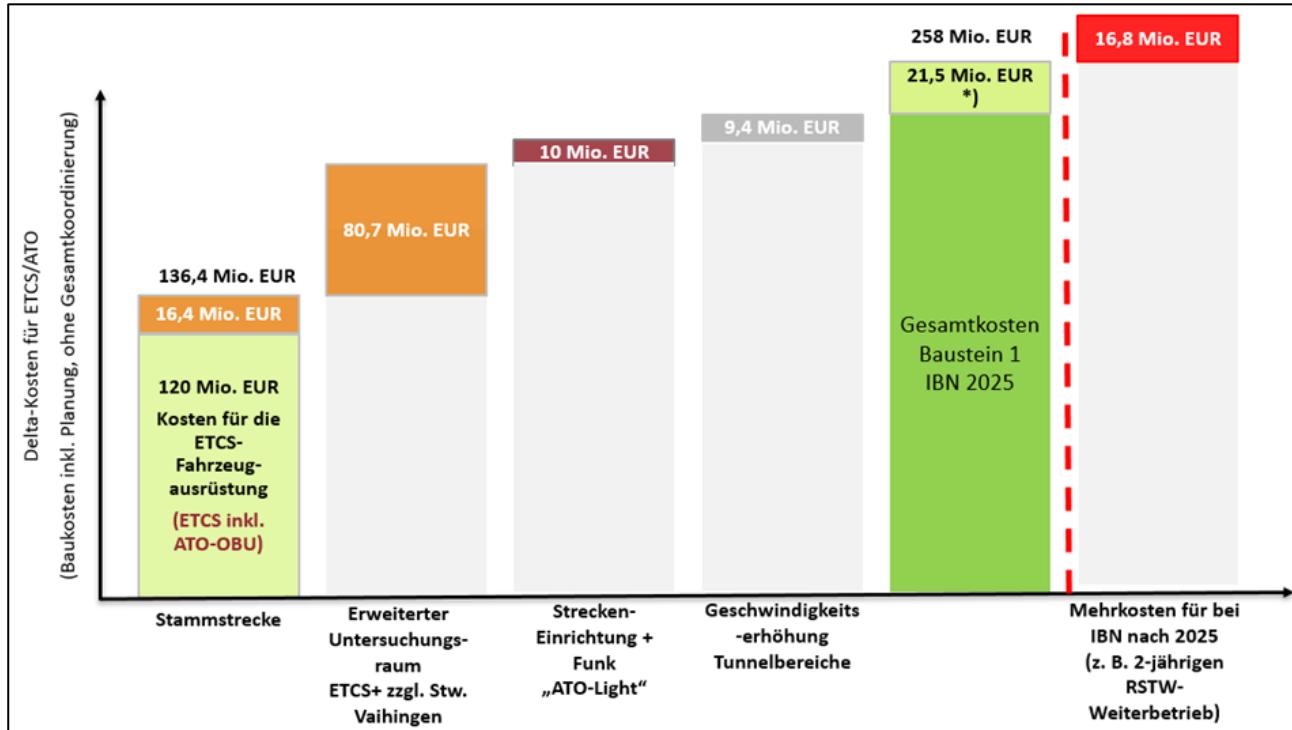


Abbildung 4: Kostenüberblick – *) infrastrukturseitiges Zusatzbudget für Pilotprojekt

0.5 Handlungsempfehlungen, notwendige Entscheidungen und Aktivitäten

Eine Prämisse der Untersuchung war, die Inbetriebnahme von „ETCS+“ und „ATO-Light“ im Jahr 2025 sicherzustellen. Für die Erreichung dieses Ziel-Termins sind folgende Entscheidungen und Aktivitäten notwendig:

- Entscheidungen und Aktivitäten mit höchster Priorität

Thema	Beschreibung	Verantw.	Termin
Projektübergreifend	Entscheidung zur Umsetzung des Systemkonzeptes ETCS+ mit „ATO-Light“ im Untersuchungsraum.	DB, VM, VRS	10/2018
Projektübergreifend	Klärung der Finanzierungsmöglichkeiten für die Strecken- wie die Fahrzeugausrüstung → Voraussetzung für Planung etc.	DB, VM, VRS, Bund, EU	01/2019
Projektübergreifend	Entscheidung zum Kauf zusätzlicher S-Bahn-Fahrzeuge, um die Voraussetzungen für die Umrüstung der Flotte bis 06/2025 und damit für ETCS+ zu schaffen.	VRS	12/2018
Projektübergreifend – Organisation	Einrichtung eines Programmteams zur Einführung von ETCS u. a. mit dem Auftrag: <ul style="list-style-type: none"> - die Empfehlungen aus der Studie mit den Stakeholdern im Detail abzustimmen und möglichst umzusetzen - Entwicklung eines Konzepts für die Systemintegration von der Ausschreibung, Tests, Erprobung, Zulassung bis zur IBN - Koordination und fachliche Begleitung der Ausschreibungen der Fahrzeug- und Streckeneinrichtung - Weiterentwicklung des Gesamtsystems zur Trassenmehrung in der Stammstrecke 	DB, VM, VRS, Bund	01/2019

- Weitere wichtige Entscheidungen und Aktivitäten

Thema	Beschreibung	Verantw.	Termin
Fahrzeug	Beauftragung Erstellung Gamma-Bremsmodell	VRS, DB Regio AG	12/2018
Fahrzeug	Sicherstellung der Umrüstkapazität	DB Regio	Ab 12/2022
Fahrzeug	Klärung der Ausschreibungskonstellation für die ATO-Komponenten in Bezug auf den Härtegrad der Spezifikationen	DB Regio	12/2018
Strecke – Infrastruktur	Anhebung der Streckengeschwindigkeit in der Stammstrecke und Hasenbergtunnel → Planungen vorantreiben	DB Netz	12/2018
Strecke – LST	Release-Planung für die Regelwerksanpassungen (ESTW/ETCS) mit den Anforderungen der S-Bahn Stuttgart synchronisieren	DB Netz, I.NPS	12/2018
Strecke – LST	TMS-/FRMCS-Konzeption und Lastenhefte erarbeiten	DB Netz	Ab 2019
Strecke – LST	Beauftragung der Entwurfsplanung für ETCS+	DB Netz, PSU	10/2018
Strecke – LST	Entscheidung zum möglichen vorübergehenden Weiterbetrieb des RSTW Stuttgart Hbf als Alternative (Rückfallebene) im Rahmen der IBN-Konzeption	DB Netz, VM, VRS	06/2019
Strecke – Funk	Abstimmung mit den privaten Providern zur Verbesserung der Funk-Ausleuchtung in den Bereichen, in denen Züge wenden (für ATO-Light)	DB Netz	06/2019
Strecke – Funk	Planung zur Erneuerung des Bahn-Betriebsfunknetzes des Knotens Stuttgart (Projekt BSS-ReInvest) für ETCS und zukünftige Anforderungen anpassen	DB Netz	12/2018
Strecke - Funk	Ergebnisse der AG GSM-R sollten in Bezug auf das angepasste ETCS-Fernbahn-Konzept (Entfall von „ETCS signalgeführt“) verifiziert werden	DB Netz, PSU	12/2018

Weitere, detaillierte Handlungsempfehlungen werden im Bericht zur Untersuchung themenbezogen erläutert.

1 Einleitung und Überblick

1.1 Veranlassung

Die S-Bahn-Stammstrecke, die in der Hauptverkehrszeit von 24 Zügen/Stunde und Richtung befahren wird, prägt das S-Bahn-Netz in der Region Stuttgart maßgeblich. Das in den letzten Jahren deutlich gestiegene Fahrgastaufkommen führt zu einer erheblichen Mehrbelastung der Stammstrecke mit Risiken und Auswirkungen auf das Gesamtsystem, insbesondere hinsichtlich der Betriebsqualität. Gegenstand der Untersuchung war es, Lösungsansätze auf Basis der Einführung einer neuen Leit- und Sicherungstechnik (mit ETCS Level 2) für die Erreichung u. a. folgender Ziele zu finden:

- **Einen stabilen und pünktlichen S-Bahn-Verkehr in der Region Stuttgart gewährleisten.**
Hierfür ist u. a. die Möglichkeit zu schaffen, die Züge im Verspätungsfall dichter hintereinander und schneller fahren zu lassen.
- **Die politischen Vorgaben zur Angebotsausweitung und zur Attraktivitätssteigerung des ÖPNV umsetzen,** in dem die Voraussetzungen geschaffen werden, zukünftig mehr Trassen anzubieten und den vom VRS beschlossenen 15-Minuten-Takt auszuweiten.
- **Investitionen zukunftssicher gestalten,** indem die neueste Leit- und Sicherungstechnik (ETCS Level 2) an der Strecke und auf den Fahrzeugen installiert wird. Sie bildet das Trägersystem, um neben der Verbesserung der Betriebsqualität, die Basis für die Kapazitätssteigerungen im hochbelasteten Kernnetz der S-Bahn Stuttgart durch die Einführung des teilautomatisierten Fahrens (ATO GoA2) zu schaffen.
- **Eine Umsetzung der Ausrüstungslösung bis 12/2025 erreichen.**
Realisierung der Aufnahme des Fahrgastbetriebes auf den um- bzw. auszurüstenden Strecken auf Basis der entsprechend ausgerüsteten Fahrzeuge möglichst parallel zu der Inbetriebnahme des Großprojektes Stuttgart 21.

1.2 Struktur des Dokumentes

Der vorliegende Abschlussbericht, der auf dem bereits freigegebenen Zwischenbericht der Stufe 1 der ETCS-Untersuchung basiert, gliedert sich entlang folgender Hauptkapitel (Kapitel-Nr.) mit den dort untersuchten bzw. bearbeiteten Aspekten:

- **Technisches Zielbild (Kapitel 2)**

Dieser Abschnitt beschreibt die notwendigen zusätzlichen Anforderungen an die Systemkomponenten:

- ETCS
- ESTW/DSTW
- GSM-R
- ETCS/ATO-Fahrzeugeinrichtung
- ATO over ETCS (GoA2)

und deren grundsätzliche Systemauslegung (Ausrüstungsprinzipien) in dem Umfeld eines hochbelasteten S-Bahnnetzes (technische Lösung).

Darüber hinaus wird dargestellt, welche planerischen Prämissen für die empfohlene Lösung zu berücksichtigen sind. Weitere Schwerpunkte sind die Analyse der Systemlaufzeiten sowie die Thematik Anforderungen an die Verfügbarkeit der Systemkomponenten.

- **Betriebsanalyse (Kapitel 3)**

Die Betriebsanalyse unterstützt die Entwicklung der technischen Ausrüstungsszenarien durch eine betriebliche Nutzenbewertung der einzelnen Teilkomponenten sowie eine abschließende Gesamtbewertung und Priorisierung der Szenarien. Dieser Abschnitt stellt im Wesentlichen die betrieblichen Effekte der jeweiligen Szenarien dar.

Im Weiterem werden die betrieblichen Potenziale zukünftiger Neu- und Weiterentwicklungen der verschiedenen Systemkomponenten aufgezeigt.

- **Ausrüstungsszenarien und Prozesse (Kapitel 4)**

Die Ausrüstungsszenarien sind die Ableitung umsetzbarer Rollout-Szenarien zur Ausrüstung der drei Ausrüstungsbereiche im Baustein 1 unter Beachtung der ermittelten und abgeleiteten Rahmenbedingungen wie:

- Zieltermin für die Inbetriebnahme 12/2025
- einschließlich IBN des technischen Szenarios „ATO Light“ (Basis ETCS+)
- Berücksichtigung des parallellaufenden Großprojektes S21 (F-Bahn) in Bezug auf die benötigten Ressourcen
- erforderliche Erst-Zulassung der neuen ETCS- und ATO-Ausrüstung für die S-Bahn-Infrastruktur wie auch für die S-Bahn-Fahrzeuge

Die Prozessanalyse konzentriert sich auf die Analyse bzw. Untersuchung der Prozesse für:

- Durchführung von erforderlichen Tests (das erstellte Konzept ist in Anhang 7 zusammenge stellt)
- Zulassung der Infrastruktur (ETCS und ATO)
- Zulassung der Fahrzeug-Umrüstung (ETCS/ATO und Schnittstelle TCMS)
- Einkaufs- und Vergabeprozesse

Als Ergebnis der Betrachtung der Ausrüstungsszenarien wie der Prozessuntersuchung ist für das empfohlene Rollout-Szenario hier eine Rolloutplanung beschrieben.

Im Weiteren erfolgt eine aus den Rahmenbedingungen und den untersuchten Erfordernissen abgeleitete Empfehlung für eine geeignete Projektorganisation. Zudem wird hier auch auf die erforderliche Risikobetrachtung eingegangen.

- **Kostenschätzung (Kapitel 5)**

Der Abschnitt stellt die Methodik der Schätzung für die Kosten der Streckenausrüstung sowie der Fahrzeugeinrichtung für den Betrachtungsraum dar. Da die technischen Szenarien im Rahmen der Untersuchung in zwei Schritten erarbeitet wurden, ist dieses Kapitel in

- Schritt 1: Betrachtung ETCS-Basis und ETCS+ für die Stammstrecke und
- Schritt 2: Betrachtung mit dem Einsatz der technischen Szenarien ETCS+ und ATO-Light für den gesamten Betrachtungsraum untergliedert.

Die detaillierte Kostenaufschlüsselung ist in den Anhang 6 ersichtlich.

- **Marktanalyse und Erfahrungen anderer Bahnen (Kapitel 6)**

Die Marktanalyse konzentriert sich streckenseitig auf die Systeme und Systemlieferanten, die im aktuellen Projekt die Randbedingungen, wie Lieferung von Stellwerkstechnik sowie ETCS-Streckeneinrichtung nach bestehenden Modulverträgen der DB AG und bei der DB Netz zugelassene Stellwerkstechnik erfüllen.

Fahrzeugseitig werden die Lieferanten betrachtet, die im Rahmen der parallel durchgeföhrten Markterkundung von DB Regio eine Preisindikation abgegeben haben.

Für beide Marktsegmente werden die Produkte der Lieferanten nach dem Reifegrad in Bezug auf das Szenario ETCS+ bewertet.

Darüber hinaus werden die Erfahrungen anderer Bahnen mit ETCS Level 2 und ATO betrachtet.

In den jeweiligen Kapiteln sind Handlungsempfehlungen formuliert, die aus Sicht des Gutachters für das Erreichen der im Kapitel 1.1 genannten Ziele notwendig sind.

1.3 Definitionen

1.3.1 Betrachtungsraum

In dem Pilotprojekt für die Einführung von ETCS und DSTW in der Region Stuttgart des Programms „Digitale Schiene Deutschland“ wurden drei Bausteine zwischen dem Land und der DB AG vereinbart (siehe Abbildung 5).

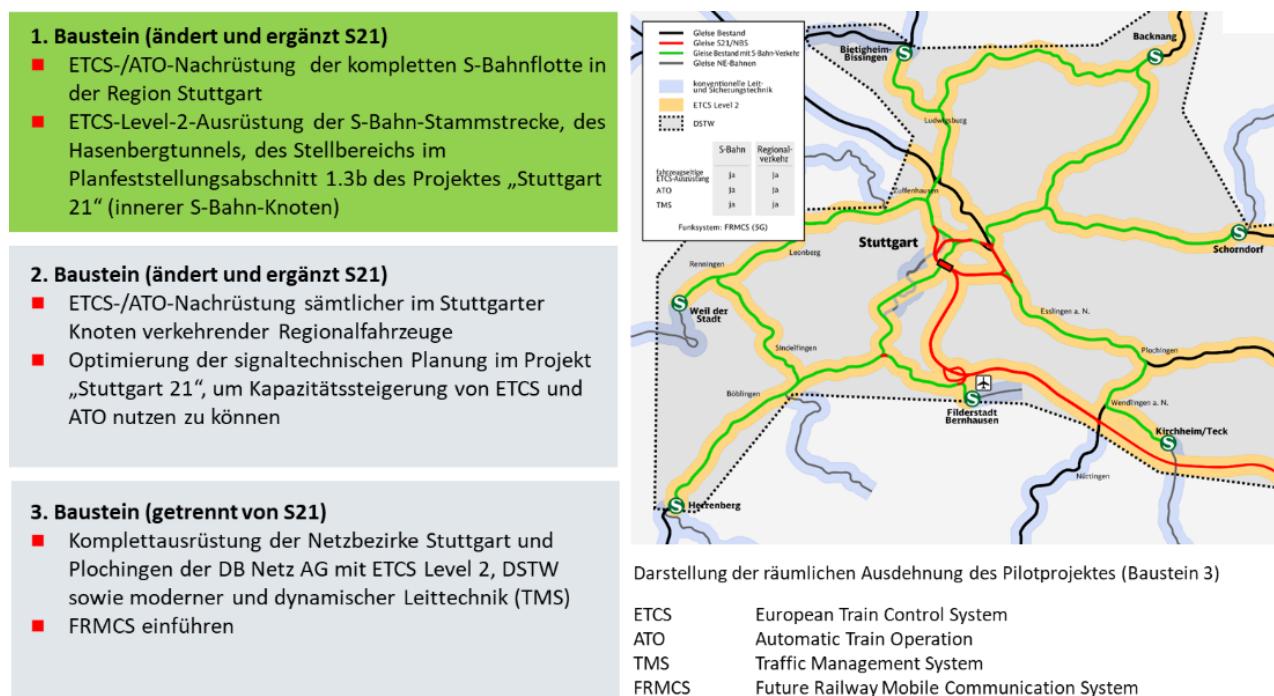


Abbildung 5: Drei Bausteine des Pilotprojektes des Programms "Digitale Schiene Deutschland" in der Region Stuttgart

Gegenstand der Untersuchung ist der Baustein 1 (siehe auch Abbildung 6). Dieser umfasst die Ausrüstungsbereiche:

- Mittnachtstraße bis Österfeld (Stammstrecke)

- Vaihingen bis Goldberg (Erweiterungsbereich I gem. Kapitel 4.1 Ausrüstungsstrategie)
- Rohrer Kurve bis Filderstadt (Erweiterungsbereich II gem. Kapitel 4.1 Ausrüstungsstrategie).

Für diese Ausrüstungsbereiche wurden die Aspekte:

- Technisches Zielbild
- Betriebsanalyse
- Kostenermittlung

detailliert beleuchtet.

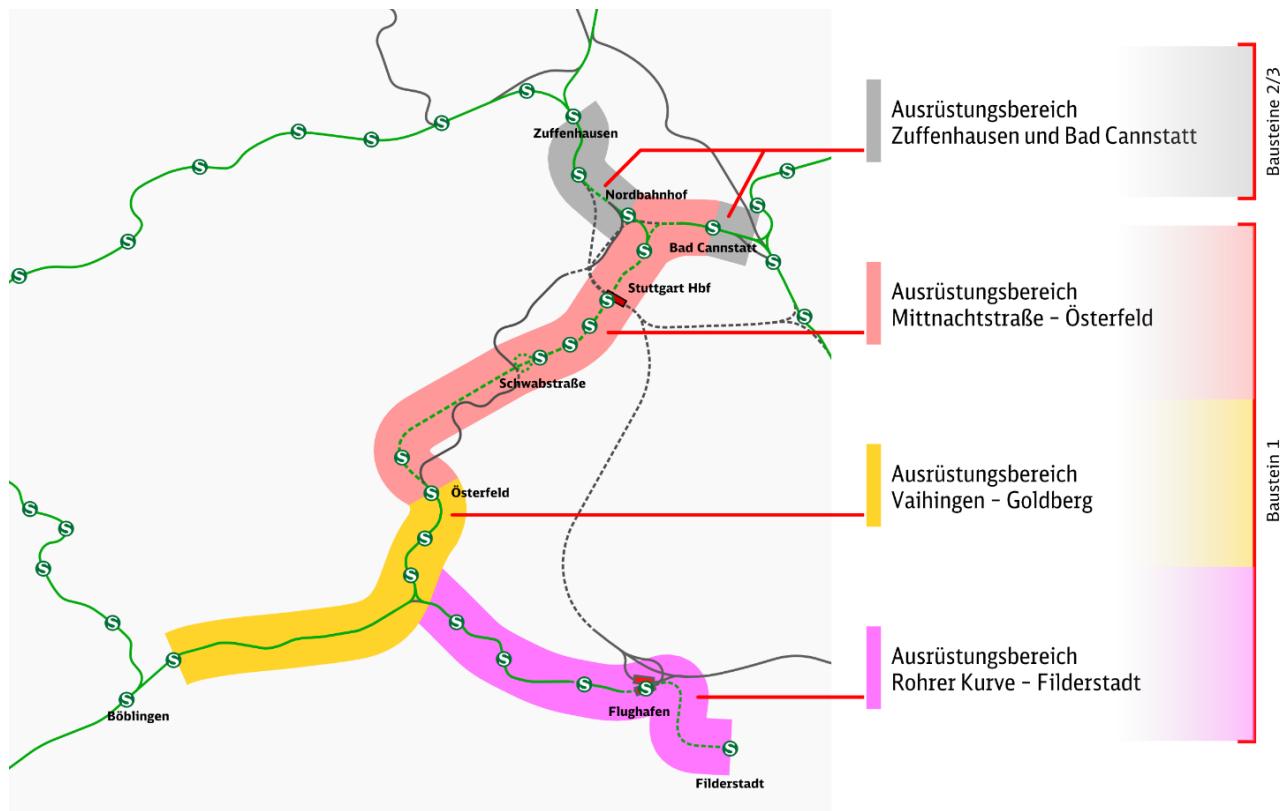


Abbildung 6: Betrachtungsraum der Untersuchung

Die Ausrüstung in den Bereichen Zuffenhausen und Bad Cannstatt sind im o.g. Pilotprojekt den Bausteinen 2 und 3 zugeordnet. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden beide Ausrüstungsbereiche grob in Bezug auf die betrieblichen Effekte einer ETCS-Ausrüstung und den daraus resultierenden Kosten untersucht. Die grobe Kostenschätzung ist in Anhang 5 und Anhang 6 dargestellt.

1.3.2 Technische Szenarien

Im Rahmen der Untersuchung wurden fünf technische Szenarien definiert:

- Ks ohne ETCS (geplante Ausrüstung als „Nullfall“)
- ETCS-Basis
- ETCS+

- „ATO-Light“
- ATO/TMS

Das Szenario **Ks ohne ETCS** bildet auf dem aktuellen Planungstand die Ausgangslage für alle Betrachtungen und Vergleiche. Hierbei wird vollständig auf die Verwendung von Lichtsignalen gesetzt. Die kleinste Blockteilung erfolgt im Bereich der Bahnhöfe mit 300 m. Auf anderen Streckenabschnitten fällt die Blockteilung deutlich größer aus. Die herkömmliche Ks-Signalisierung auf der Basis von ESTW-Technik wird durch PZB und Geschwindigkeitsprüfabschnitte (ohne 500- und 1000-Hz-Beeinflussung) ergänzt. GSM-R wird lediglich als Zugfunksystem (GSM-R Zugfunk) eingesetzt.

Im Szenario **ETCS Basis** wird das Signalisierungs- und Überwachungssystem aus dem Szenario Ks ohne ETCS um ETCS Level 2 auf der Strecken- und Fahrzeugseite ergänzt. In diesem Szenario wird somit parallel zur fahrzeug- und streckenseitigen ETCS-Ausrüstung auch die Ks-Signalisierung inkl. PZB implementiert. Insbesondere dient die Ks-Signalisierung im Zeitraum der Umrüstung für noch nicht umgerüstete Fahrzeuge und nach der Umrüstungsphase als Rückfallebene. Das Szenario ist somit für ETCS-geführte und nicht ETCS-geführte Fahrzeuge, zumindest während der Umrüstungsphase, ausgelegt. Zur Optimierung des Betriebskonzeptes wird die Blockteilung mit bis zu minimal 51 m für ETCS-geführte Fahrzeuge im Stationsbereich geplant, wobei die maßgebliche Grenze durch die Ergebnisse des Change Request 953 definiert wird. Für lichtsignalgesicherte bzw. nicht ETCS-geführte Fahrzeuge bleibt die Blockteilung von 300 m im Stationsbereich, entsprechend dem Szenario Ks ohne ETCS, unverändert. Für die kleinere Blockteilung werden zusätzliche Gleisfreimeldeabschnitte eingeführt. Die Planung der Leit- und Sicherungstechnik (ETCS) erfolgt nach Ril 819.1344 und wird ggf. durch spezifische Regelungen für ETCS L2 auf der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart ergänzt.

Das Szenario **ETCS+** ist im Gegensatz zum Szenario ETCS-Basis für reinen ETCS-Betrieb ausgelegt, wobei eine stark reduzierte Ks-Signalisierung als Rückfallebene dient (Entfall der Ks-Einfahrtsignale). Die Ks-Signale werden im Regelbetrieb „dunkel geschaltet“. Voraussetzung für die Implementierung dieses Szenarios ist die vollständige Ausrüstung der in den Ausrüstungsbereichen verkehrenden Fahrzeugen mit ETCS (Streckenzugangsbedingung). Hinsichtlich der Systemtechnik gibt es gegenüber dem Szenario ETCS-Basis weitere Anpassungsentwicklungen und Implementierungen, wie zum Beispiel die Erweiterung der SCI-RBC-Schnittstelle auf der ESTW und ETCS/RBC-Seite zur Optimierung von Systemlaufzeiten, sowie die Anpassung von Nationalen Werten von ETCS. Zur Optimierung des Betriebskonzeptes wird die Blockteilung mit bis zu minimal 51 m für alle Fahrzeuge im Stationsbereich geplant. Außerhalb der Stationsbereiche sind größere Blockabschnitte geplant (siehe Abbildung 7). Die Planung der Leit- und Sicherungstechnik (ETCS) erfolgt nach Ril 819.1344 und wird ggf. durch spezifische Regelungen für ETCS L2 auf der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart ergänzt.

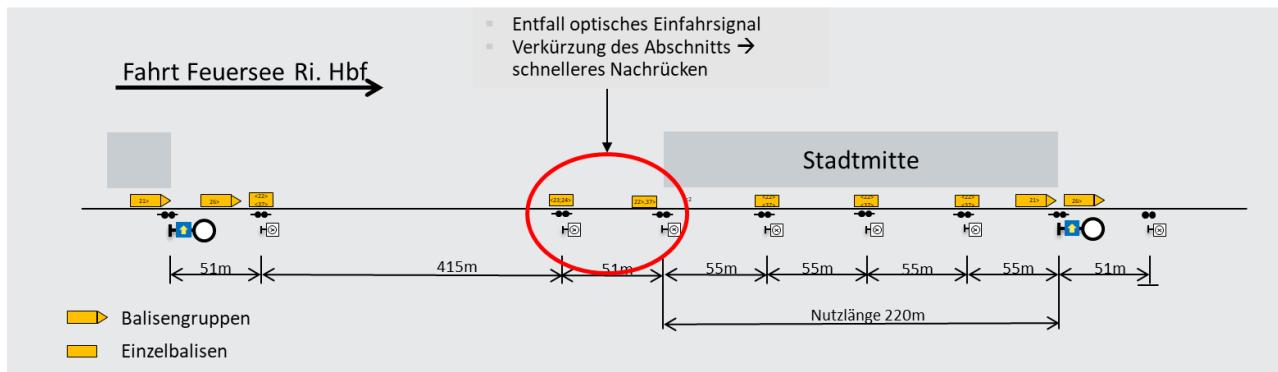


Abbildung 7: Ausrüstungsszenario ETCS+ am Beispiel des Abschnitts Feuersee – Stadtmitte

Das Szenario „ATO-Light“ basiert auf dem ETCS+-Szenario und erweitert dieses um ATO-Funktionalitäten (ATO over ETCS). Da dieses Szenario auf ETCS+ basiert, ist auch hier reiner ETCS-Betrieb vorgesehen. ATO soll dabei im Automatisierungsgrad (GoA) 2 für den Regelbetrieb betrieben werden.

Das Szenario **ATO/TMS** baut ebenfalls auf ETCS+ auf (Basis „ATO over ETCS“), unterscheidet sich zum ATO-Light-Szenario allerdings durch den Einsatz eines dynamischen Verkehrsmanagementsystems (TMS) und den vollständigen Rückbau der verbliebenen Lichtsignale. Durch die dynamische Leittechnik (TMS) soll das ATO-System die Führung der Züge jederzeit an die aktuelle Betriebssituation auch mit Blick auf die netzweiten Optimierungseffekte anpassen. Voraussichtlich wird für die Datenübertragung der neue Standard „Future Railway Mobile Communication System“ (FRMCS) zum Einsatz kommen, der echtzeitfähig und daher für die Kommunikation zeitkritischer Systeme geeignet ist.

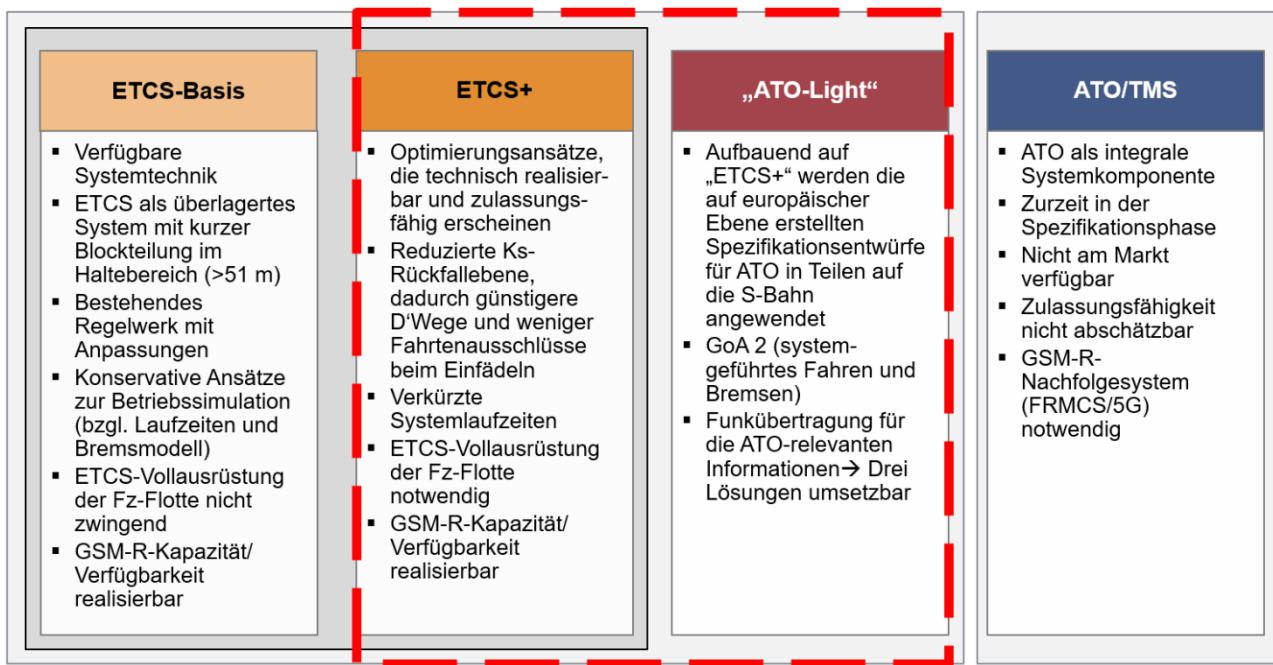


Abbildung 8: Übersicht über die untersuchten technischen Szenarien

Abbildung 8 gibt eine Übersicht über die genannten technischen Szenarien. Die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ standen in einem ersten Schritt der Untersuchung im Fokus. In diesem Schritt wurden darüber hinaus bereits die positiven betrieblichen Effekte des Szenarios „ATO-Light“ grob herausgearbeitet.

Vor diesem Hintergrund standen und stehen die Szenarien ETCS+ und „ATO-Light“ im Mittelpunkt der weiteren, hier beschriebenen Untersuchung. Wobei ETCS+ als eigenständiges Trägersystem dient und die ATO als Systemkomponente für das teilautomatisierte Fahren ergänzt wird.

In dem Ausrüstungsbereich Mittnachtstraße–Österfeld (erweiterte Stammstrecke) wird ETCS+ mit minimalen Blocklängen (siehe Abbildung 7) konzipiert, da hier die maximale betriebliche Leistung im Netz benötigt wird.

In den Ausrüstungsbereichen Vaihingen – Goldberg und Rohrer Kurve–Filderstadt wird die Blockteilung optimiert, in dem die Anzahl und Länge der Blockabschnitte den betrieblichen Anforderungen angepasst werden. Die genaue Ausgestaltung ist im Zuge der Entwurfsplanung auszuführen.

Für alle Ausrüstungsbereiche wird in den betrieblichen Untersuchungen „ATO-Light“ als Szenario betrachtet.

1.3.3 Ausrüstungsszenarien

Im Rahmen der Untersuchung wurden vier Ausrüstungsszenarien entwickelt und bewertet (siehe Abbildung 9 und im Weiteren Kapitel 4.1.1).

Definition der vier Rollout-Szenarien

Szenario I	Szenario II	Szenario III	Szenario IV
<p>IBN ETCS+ und „ATO-Light“ auf Stammstrecke + Erweiterungsbereich I</p> <p>Merkmale:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gestaffelte technische IBN, beginnend mit der Stammstrecke (für ETCS-Tests und Wieder-IBN der Serienfahrzeuge) bis 12/2025 Unabhängige Erprobung und IBN von ETCS und „ATO-Light“ (zur Verbesserung der Fehlerbehandlung) Abschluss der Fahrzeugumrüstung in 06/2025 	<p>Spätere Ergänzung des Erweiterungsbereichs I</p> <p>Merkmale:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gestaffelte technische und kommerzielle IBN, zunächst nur Stammstrecke (mit ETCS und ATO-Light) Unabhängige Erprobung und IBN von ETCS und „ATO-Light“ auf Stammstrecke und später im Erweiterungsbereich I (zur Verbesserung der Fehlerbehandlung) Abschluss der Fahrzeugumrüstung in 06/2025 	<p>Spätere IBN ESTW/ ETCS / ATO wg. längerer Fzg.-Ausrüstung bzw. S21-Konflikt</p> <p>Merkmale:</p> <ul style="list-style-type: none"> Technische und Kommerzielle IBN für alle drei Ausrüstungsbereich erst nach 12/2025 Erprobung von ETCS und „ATO-Light“ erst in 2026 und spätere IBN für alle Ausrüstungsbereiche (ggf. unabhängig voneinander zur Verbesserung der Fehlerbehandlung) Erreichung Abschluss der Fahrzeugumrüstung erst nach 12/2025 	<p>Vorziehen der IBN dank schneller Fahrzeugausr.</p> <p>Merkmale:</p> <ul style="list-style-type: none"> Technische und Kommerzielle IBN für alle drei Ausrüstungsbereich inkl. ETCS und „ATO-Light“ vor 06/2025 Tests und Erprobung von ETCS+ und von „ATO-Light“ parallel zur STW-Realisierung Abschluss der Umrüstung der gesamten Serien-Fahrzeuge bereits vor 06/2025

Abbildung 9: Übersicht untersuchte Ausrüstungsszenarien (Definition)

Innerhalb der Rollout-Szenarien wird insbesondere innerhalb der Baustufe 1 unterschieden zwischen der Ausrüstung der Stammstrecke und den beiden Ausrüstungsbereichen, die den Erweiterungsbereich I der Machbarkeitsstudie darstellen (der Erweiterungsbereich II würde dann durch die Baustufen 2 und 3 beschrieben).

Für die Bewertung der Szenarien werden folgende Kriterien herangezogen:

- Zeitrahmen,
- Kosten,
- Finanzierung,
- Risiken,
- Chancen und
- Zwingende Voraussetzungen.

Als entscheidender Bewertungsmaßstab steht das Erreichen einer gesicherten Inbetriebnahme der drei Ausrüstungsbereiche mit ETCS bis 12/2025, zumindest aber der Stammstrecke.

1.4 1Methodik

Die Detailergebnisse der Untersuchung für die Aspekte wurden in einzelnen Arbeitsgruppen (AG) erarbeitet. Diese AGn wurden entsprechend folgender Schwerpunkt-Themen gebildet:

- **Infrastruktur** mit den Schwerpunkten
 - o Anforderungen an die Systemkomponenten ESTW und ETCS (Streckenseite),
 - o Analyse der planerischen Aspekte für ESTW und ETCS,
 - o Laufzeit- und Verfügbarkeitsaspekte
- **GSM-R**, mit der Untersuchung aller funktechnischen Aspekte (GSM-R Data, ATO-Kommunikation, zukünftige Anforderungen FRMCS)
- **Betrieb**, mit dem Schwerpunkt der EBWU (betriebliche Simulation) der entsprechenden technischen Szenarien und Ausrüstungsszenarien
- **ATO**, als neue, noch nicht bei der DB Netz in Betrieb befindliche Systemkomponente wird das Thema Konzept und Systemanforderungen ATO als separate AG geführt
- **Ausrüstungsstrategie und Prozesse**, Schwerpunkt sind hier die Bestimmung der technischen Ausrüstungsszenarien und eines geeigneten Rollout-Szenarios. Aus den Ergebnissen dieser AG werden die Kostenschätzungen u.a. abgeleitet.

Die Zwischenergebnisse und Entscheidungsbedarfe wurden in einen übergeordneten Arbeitskreis gespiegelt, der quasi für die Synchronisation der AGn verantwortlich war.

Beide Gremien (AG und AK) wurden jeweils von Vertretern und Experten des Auftraggebers (VM, VRS und DB AG) und der InGe besetzt. Ein Vertreter der InGe war für die Leitung des Gremiums verantwortlich.

Für die inhaltliche Arbeit wurden im Wesentlichen folgende Methoden in den AGn gewählt:

- Analyse vorhandener DB Regelwerke
- Analyse vorliegender Planungen für die Bereich des Bausteins 1
- Herstellerbefragung
- Abstimmung mit Experten der DB AG sowie PSU
- EBWU mit dem Tool LUKS

Die spezifischen Methoden für die Untersuchung der einzelnen Aspekte werden in den Kapiteln 2 bis 6 näher erläutert.

1.5 Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

1.5.1 Ergebnisse

Die InGe empfiehlt die Ausrüstung der Ausrüstungsbereiche des Bausteins 1 (siehe Abbildung 6) gemäß der Szenarien ETCS+ und „ATO-Light“. Voraussetzung für eine Inbetriebnahme (IBN) ist die vollständige Ausrüstung der S-Bahn-Fahrzeugflotte mit ETCS- und ATO-Fahrzeugeinrichtungen.

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch die Anwendung von ETCS+ im erweiterten Betrachtungsraum steigt die Betriebsqualität.
- „ATO over ETCS“ im Szenario „ATO-Light“ erhöht die Betriebsqualität weiter.
- Die Systemkonzeption ist mit heutiger ESTW- und mit DSTW-Technik umsetzbar.
- GSM-R ist mit entsprechender Umrüstung auf den Datenfunk im gesamten Betrachtungsraum für die Szenarien ausreichend.
- Eine IBN von „ATO-Light“ im erweiterten Betrachtungsraum im Jahr 2025 ist erreichbar.

Aus der **Betriebsanalyse** resultieren folgende Ergebnisse:

Mit ETCS+ und ATO GoA2 werden die betrieblichen und verkehrlichen Ziele erreicht.

Betriebsqualität steigt signifikant	Erste Angebotsausweitung erzielbar
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mindestzugfolgezeiten können um mehr als 20 % verkürzt werden. ✓ Haltezeitüberschreitungen können deutlich besser kompensiert werden. ✓ Mögliche Geschwindigkeitserhöhungen schaffen zusätzliche Fahrzeitreserven (im Verspätungsfall). ✓ Verspätungsabbau über die Stammstrecke wird möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Taktverdichtung bis Stuttgart-Vaihingen wird möglich (ggf. zusätzlicher Infrastrukturausbau in Vaihingen erforderlich). ✓ ETCS+ mit „ATO-Light“ ist Träger-system für mehr als 24 Züge/h auf der Stammstrecke nach Umsetzung flankierender Maßnahmen.

Abbildung 10: Ergebnisse der Betriebsanalyse

Für die Entwicklung der Betriebsqualität wurde die maßgebliche Kennziffer „Mittlere Verspätungsänderung über alle Zugfahrten“ vereinbart. Die Abbildung 11 zeigt, dass mit der heutigen/ bzw. bisher geplanten konventionellen HV/Ks-Signalisierung die mittlere Verspätung zunimmt wogegen die Verspätung im Szenario „ATO-Light“ spürbar abnimmt.

Die unabhängige Validierung durch die DB Netz (I.NMF 34) bestätigt die Ergebnisse der InGe.

Die Detailergebnisse sind im Kapitel 3 sowie in Anhang 10 dargestellt.

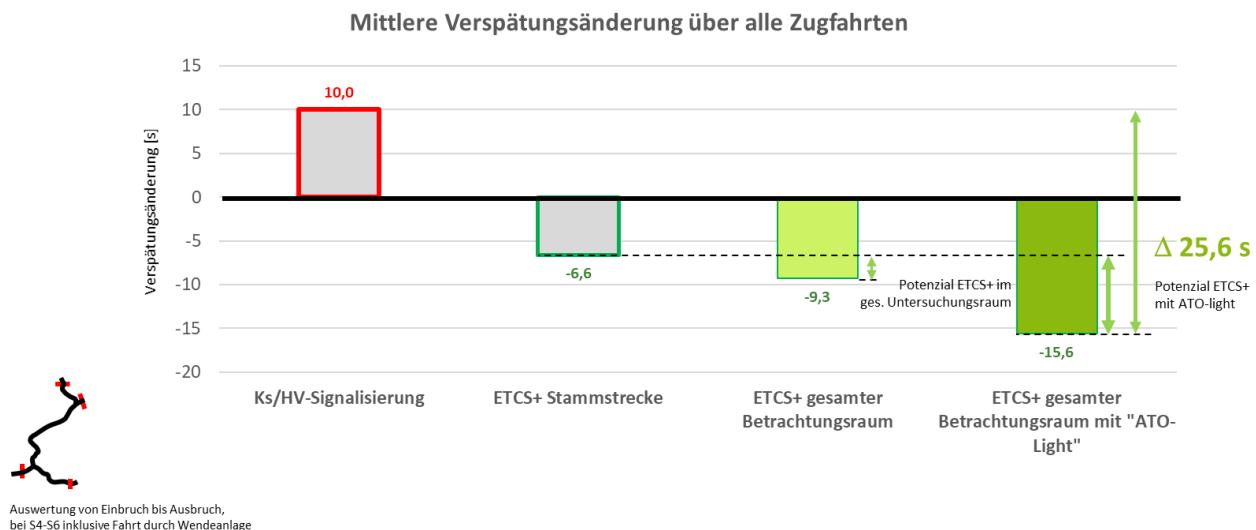


Abbildung 11 Entwicklung der mittleren Verspätungsänderung für die technischen Szenarien im Betrachtungsraum (Baustein 1)

Das den technischen Szenarien ETCS+ und „ATO-Light“ zugrunde liegende Systemkonzept (**technisches Zielbild**) ist für die heutige ESTW- und die neue DSTW-Technik geeignet.

Für die Systemkomponenten ESTW und ETCS (Streckenseite) ergeben sich im Wesentlichen folgende Schlussfolgerungen bzw. zusätzliche Anforderungen, die technisch und zulassungsseitig bis zum geplanten IBN-Termin realisierbar sind:

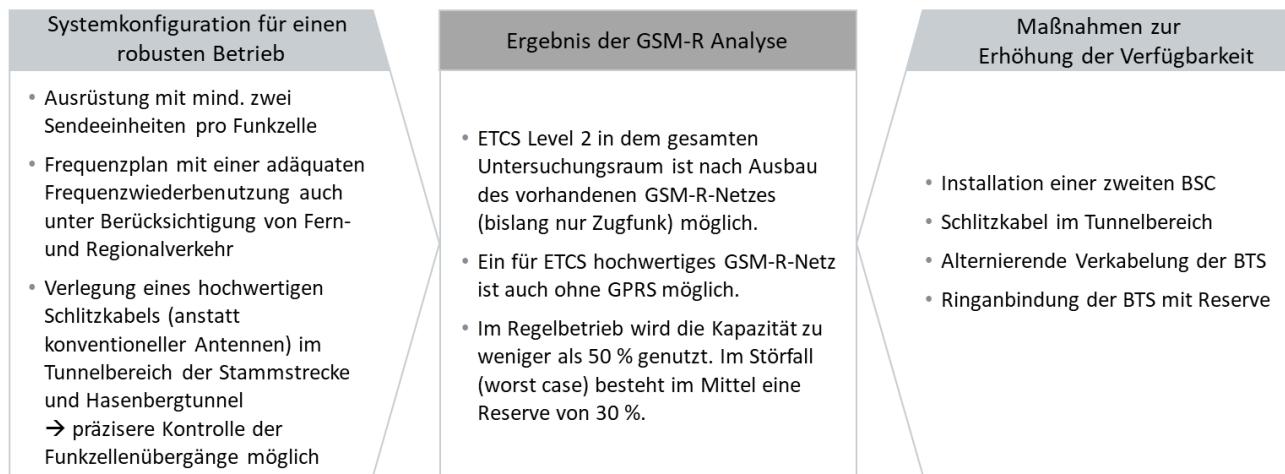
Weiterentwicklung ESTW	Anforderungen ETCS+
<ul style="list-style-type: none"> Anpassungen Planungsrichtlinie: <ul style="list-style-type: none"> Blockkennzeichen vor Vorsignalen Unterteilung von Inselgleisen Verkürzung von Systemlaufzeiten an der Schnittstelle zwischen ESTW und ETCS-Zentrale (SCI-RBC) (mit der Industrie abgestimmt) 	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung Planungsrichtlinie: <ul style="list-style-type: none"> Abstand Einstiegs- zum Folgesignal TSR-Datenpunkt bei kurzen Signalabständen Verkürzung von Systemlaufzeiten an der Schnittstelle zwischen ESTW und ETCS-Zentrale (SCI-RBC) Reduzierung Mindestblocklänge Reduzierung der Balisenanzahl im Bahnsteigbereich Anpassung Release Speed Aufnahme an einer Balisengruppe hinter einem Blockkennzeichen

Die Detailergebnisse sind im Kapitel 2.1 dargestellt.

In Bezug auf die Systemkomponente GSM-R lassen sich die Untersuchungsergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Bestehendes GSM-R-Netz kann für ETCS Level 2 erweitert werden.
- Die ETCS-Ausrüstung des Fern- und Regionalverkehrs wurde berücksichtigt.
- Die Kapazitätsreserven sind für den gesamten Betrachtungsraum und für die angedachte Zielkonfiguration ETCS+ mit „ATO-Light“ für alle Verkehrsträger ausreichend.
- GPRS wird nicht benötigt.

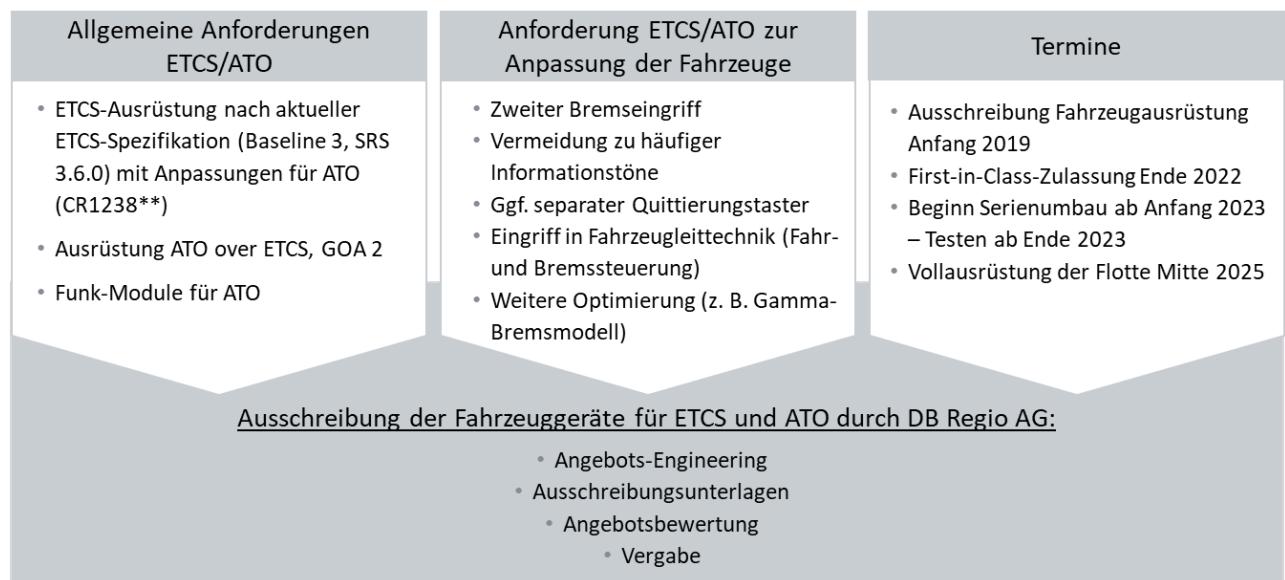
Die wesentlichen Anpassungen/Ergänzungen am bestehenden GSM-R sind in folgender Abbildung dargestellt.



Die Detailergebnisse sind im Kapitel 2.2 dargestellt.

Für die Systemkomponente ETCS/ATO-Fahrzeugeinrichtung empfiehlt die InGe die Ausschreibung von ETCS und ATO GoA2 auf Basis der europäischen Standards. Die Ausschreibung der Fahrzeugeinrichtungen erfolgt eigenständig in einem verbundenen Parallelprojekt der DB Regio (Betreiber der S-Bahn Stuttgart). Um Vergabevorteile zu erzielen, wird empfohlen die Ausschreibung für die S-Bahn-Züge mit der ebenfalls erforderlichen ETCS/ATO-Ausrüstung der Regionalfahrzeuge zu verbinden.

Die Ergebnisse der Untersuchung der InGe lassen sich im Wesentlichen, wie folgt, darstellen:



*) technical opinion der ERA wird im Frühjahr 2019 erwartet

**) Der Change Request (CR) 1238 beschreibt die für ATO notwendigen Änderungen an ETCS.

Die Detailergebnisse sind im Anhang 4 dargestellt.

Für die Systemkomponente ATO over ETCS im GoA2 lassen sich die wesentlichen Empfehlungen der InGe wie folgt zusammenfassen:

- Vergabe der ETCS-/ATO-Fahrzeugeinrichtung an einen Hersteller.
- Basis der Fahrzeugausschreibung in 2019 ist die Baseline (BL) 3, SRS 3.6.0 mit der „Technical Opinion“ der ERA zu CR 1238
- Die Ausschreibung muss zwei Softwarestände für die ETCS- und ATO-Software vorsehen:
 - SRS 3.6.0 und CR 1238 mit „Technical Opinion“ der ERA
 - Finaler Softwarestand gemäß TSI und prüferklärter Lastenhefte der DB AG
- Prüferklärung der Lastenhefte der DB nach Einarbeitung der Änderungen in der TSI ZZS
- Die Streckeneinrichtung kann unabhängig ausgeschrieben werden.
- Es wird eine stufenweise Inbetriebnahme von „ATO-Light“ empfohlen:
 - Zuerst sollte die Inbetriebnahme und Fehlerbeseitigung von ETCS+ erfolgen.
 - Danach kann die vollständige ATO-Inbetriebnahme erfolgen.

Für die **Ausrüstungsstrategie/Prozesse** ist im Ergebnis auszuweisen, dass aufgrund der Zielsetzung des Programms mit der Inbetriebnahme des Großprojektes von Stuttgart 21 eine Umsetzung der Leistungssteigerung bzw. der Verbesserung der Betriebsqualität für den Betrachtungsraum (Stammstrecke plus Erweiterung I) erreicht werden soll, sich deutlich nur die Umsetzung des Rollout-Szenarios I empfiehlt. Lediglich die gestaffelte (technische) IBN der Ausrüstungsbereiche und das stufenweise testen und Erproben der neuen Technologien ETCS+ und ATO-Light machen unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine Zielerreichung IBN 12/2025 möglich.

Hierbei spielen die Faktoren Ausschreibung/Vergabe mit Erstellung der Anforderungsspezifikationen für die Streckenausrüstung und die Fahrzeugumrüstung, die Zulassung der neuen Technik (ETCS BL3 und „ATO-Light“) für Infrastruktur wie die “First in Class”-Fahrzeuge (2 Baureihen) inklusiver der erforderlichen Testmöglichkeiten, sowie die termingerechte Umrüstung aller Serienfahrzeuge (Mithilfe der Beschaffung zusätzlicher S-Bahn-Fahrzeuge) eine entscheidende Rolle.

Vorangestellt ist die zwingende Notwendigkeit der zeitnahen und ausreichenden Projektfinanzierung wie auch die frühzeitige Umsetzung einer geeigneten Projektorganisation mittels eines zentralen Programmteams und eines Steuerkreises für das „Programm S-Bahn Stuttgart“, wie es in der Untersuchung empfohlen wird.

Gemäß der Abstimmung mit dem Eisenbahnbundesamtes ist der Umstand, dass hier eine Finanzierung noch nicht zugelassener Technik eine Voraussetzung darstellt, kein Hindernis, da hierfür bereits geeignete Prozess bzw. Vorgehensweise seitens des EBA gegeben sind und so das Projekt auch von der Seite der Aufsichtsbehörden unterstützt wird.

Die Kostenschätzung ist eine Delta-Betrachtung zu den im Baustein 1 bisher geplanten Ausrüstungskonzepten.

Auf der Stammstrecke war bisher ein neues ESTW mit Ks-Signalisierung (mit PZB) geplant. Das Stellwerk Vaihingen (RSTW) sollte teilerneuert werden und für das ESTW Flughafen war vorgesehen, die vorhandenen HV-Signale durch Ks-Signale zu ersetzen.

Die in der Abbildung 12 dargestellte Kostenschätzung geht von dem technischen Szenario ETCS+ und „ATO-Light“ sowie dem Ausrüstungsszenario I aus. Der Kostenblock „Weiterbetrieb RSTW“ bildet das Ausrüstungs-szenario II ab.

Die Geschwindigkeitserhöhung von 60 auf 80 km/h bzw. von 80 auf 100 km/h in den Tunnelbereichen (der Stammstrecke und des Hasenbergtunnels (zwischen Schwabstraße (a) und Österfeld (a))) ist in den betrieblichen Analysen berücksichtigt worden und aus diesem Grund kostenseitig betrachtet.

Die Kosten für die ETCS/ATO-Fahrzeugausstattung betreffen die Baureihen 430 und 423 der S-Bahn Stuttgart (157 Fahrzeuge, Betreiber DB Regio).

Die Detailergebnisse sind im Kapitel 5 dargestellt.

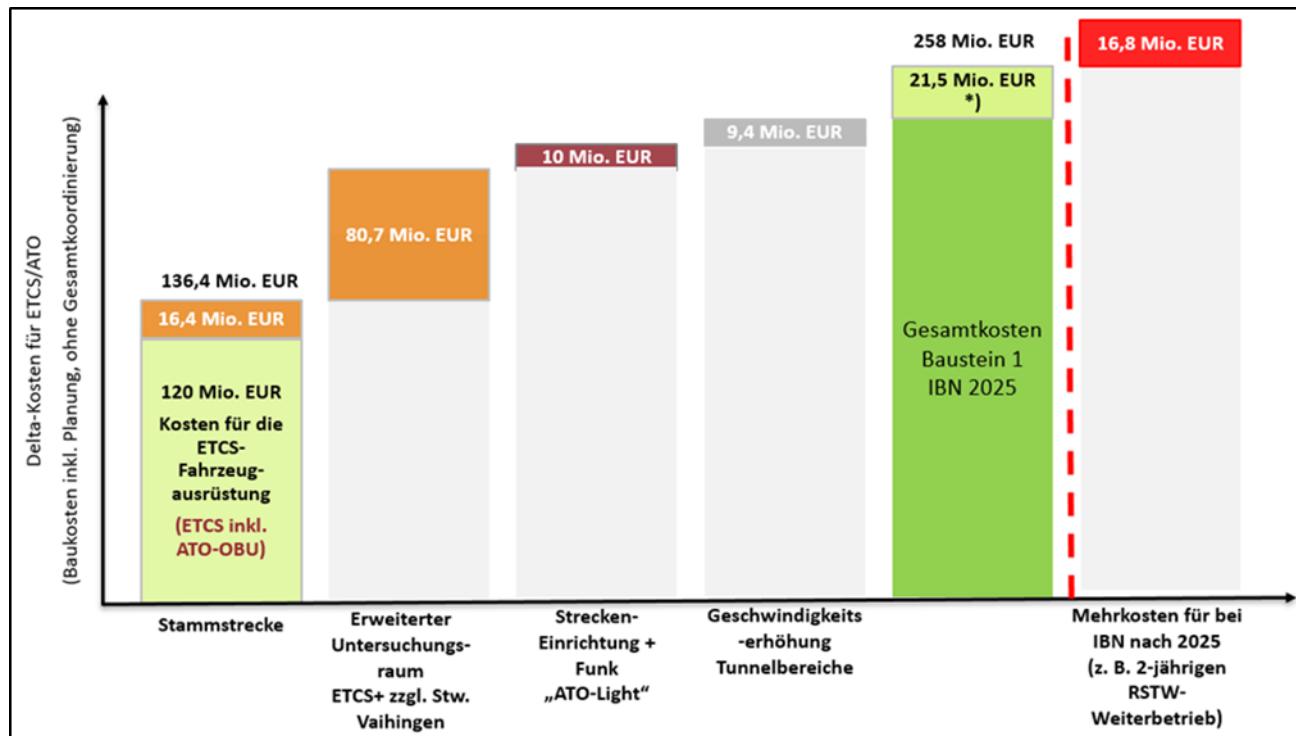


Abbildung 12 Kostenschätzung für den Betrachtungsraum (Baustein 1);

*) Zusatzbudget für Anwendung im Pilotprojekt

1.5.2 Handlungsempfehlungen

Im Folgenden sind die Handlungsempfehlungen aus den Kapitel 2 ff. zusammengefasst. Die fachlichen Hintergründe zu den Handlungsempfehlungen sind in den jeweiligen Kapiteln in den jeweiligen Unterkapiteln „Detailbeschreibung“ erläutert.

1.5.2.1 Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)

Tabelle 1: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-1	ETCS-Streckenausrüstung Die Ausrüstung der Strecke sollte auf Basis der SRS 3.4.0 erfolgen.	-	DB AG
ES-2	ETCS-Streckenausrüstung Die Mindestlänge von Zugfolgeabschnitten entsprechend BTSF ist zur Erreichung der Qualitätsverbesserung zu reduzieren.	Konsolidierung des CR953. Umsetzung des konsolidierten CR953. Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-3	ETCS-Streckenausrüstung Eine Doppelausrüstung mit alleinstehenden Ne 14-Tafeln, Ks-Signalen und PZB ist vorzusehen.	Koexistenz von alleinstehenden Ne 14-Tafeln mit Ks-Signalen für Szenario ETCS+ ist betrieblich zulässig und technisch machbar.	DB AG
ES-4	ETCS-Streckenausrüstung Eine neue Anforderung bezüglich der Nichtaufnahme nach ETCS L2 bei Fahrten welche Befehlstaste erfordern, ist in das BTSF aufzunehmen („gleitende Aufnahme“).	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-5	ETCS-Streckenausrüstung Eine adaptierte Planungsregel für Datenpunkte Typ 26 (Langsamfahrstelle für SR-Fahren) ist in das BTSF und in die Planungsrichtlinie 819.1344 aufzunehmen.	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-6	<p>ETCS-Streckenausrüstung</p> <p>Eine adaptierte Anforderung für den Wert der Release Speed ist in das BTSF und in die Planungsrichtlinie 819.1344 aufzunehmen.</p> <p>Ein Minimalwert von 5 km/h ist zwingend erforderlich, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H-Tafeln in unmittelbare Nähe vor Signalen, an denen Fahrerlaubnisse enden können, erreicht werden müssen • rückwärtige Weichenabschnitte und Schaltabschnittsgrenzen frei gefahren werden müssen <p>Eine aus Bremsversuchen ermittelte maximal zulässige Release Speed, welche spezifisch für den zur Verfügung stehenden Durchrutschweg / Gefahrpunktabstand projektiert werden kann, könnte grundsätzlich und insbesondere in der Anfahrt zu Bahnsteigen deckenden Signalen zur Verbesserung der Betriebsqualität beitragen.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-7	<p>ETCS-Streckenausrüstung</p> <p>Im Vertrag mit dem ETCS-Streckenausrüster sollten Themen wie Lieferungen von Logfiles und Messmöglichkeiten enthalten sein.</p> <p>Darüber hinaus sollten konkrete Qualitätskriterien, wie zum Beispiel Laufzeiten und Verfügbarkeitswerte in den Vertrag mit dem ETCS-Streckenausrüster integriert werden.</p>		DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-8	ETCS-Streckenausrüstung Die InGe empfiehlt grundsätzlich Bad Cannstatt mit ETCS Level 2 auszurüsten. (Siehe u.a. Kapitel 2.1.3.9 oder 2.5.3.1.3) Sollten aber die ETCS Level L1LS Ausrüstungspläne umgesetzt werden, muss eine weiterführende (u.a. technische und planerische) Betrachtung der Leveltransition erfolgen. Leveltransitionen von ETCS L2 nach ETCS L1 Limited Supervision und umgekehrt sind zurzeit nicht im BTSF beschrieben. Anforderungen für diese Transitionen müssen erstellt werden, um die Übergänge nach Bad Cannstatt realisieren zu können.	-	DB AG
ES-9	ETCS-Betrieb Grundsätzlich ist das Aufstarten im Regelbetrieb bei der S-Bahn Stuttgart in den Streckenteilen des Betrachtungsraumes nicht notwendig. Für die Wendeschleife Schwabstraße, und die dort gelegentlich aufstartenden Züge empfiehlt die InGe, dass mit PZB aufgestartet wird und die Aufnahme nach ETCS L2 auf der Stammstrecke erfolgt.	-	DB AG
ES-10	Stellwerk Funktionen für das Zusammenfassen von Achszählab schnitten sind stellwerksseitig zu spezifizieren.	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG

1.5.2.2 Systemkomponente GSM-R

Tabelle 2: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente GSM-R

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
GS-1	Antennenkonfiguration	Tunnelröhren sind zu versorgen	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
	Es wird empfohlen für die Stammstrecke sowie den Hasenbergtunnel mit hohen Zugfolgen, Tunnellängen größer 500 m Schlitzkabel zu planen und zu verlegen.		
GS-2	Planungswerte für Gleichkanalstörungen Planungskriterium für Gleichkanalstörungen C/Ic mit 95% Wahrscheinlichkeit sollte zur Erhöhung der Störfestigkeit bei 15 dB liegen	Ril 859.1202 für die GSM-R-Planung für ETCS anpassen	DB Netz AG
GS-3	Erhöhung Qualitätsparameter Zusätzliches Qualitätskriterium in Form einer RxQual – Wahrscheinlichkeit von: 95 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 2 99 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 4	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-4	Begrenzte Ringauslastung In der Festnetzanbindung werden vorerst nur 3 BTS in einen Loop geschaltet	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-5	Alternierende Ringanbindung Nachbar-BTS sollen in jeweils andere Loops angebunden werden	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-6	Dedizierte ETCS-BSC Die BTS, welche für ETCS genutzt werden, sind an eine BSC anzubinden, an welche nur BTS angeschlossen werden, die für ETCS genutzt werden	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-7	Funknetzoptimierung Das Funknetzdesign ist dahingehend zu optimieren und durch Standorte zu ergänzen, dass Zellwechsel in für ETCS weniger kritische Bereiche fallen und die maximale Anzahl TRX je Funkzelle auf weitestgehend zwei beschränkt bleibt. Lokale Rückbaumaßnahmen von Standorten beziehungsweise TRX sind erforderlich.	Optimierung Funknetzdesign	DB Netz AG
GS-8	Derzeit ist in der Instandhaltung eine SLA-Vereinbarung gültig für das gesamte GSM-R-Netzwerk der DB. Bei fortschreitender Einführung von ETCS und damit	Neuaushandlung SLA	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
	auch von weitergehenden Diensten über die Sprachkommunikation hinaus, empfiehlt sich eine Anpassung des existenten SLA. Da insbesondere der Bahnbetrieb zunehmend stärker abhängig von installierten Technologien und Software ist, empfiehlt die InGe, dass die DB für die Wartung und Instandsetzung Prioritäten z. B. für Stammstrecken und Knoten definiert und dann Service-Ebenen vereinbart werden, die besser absichern bzw. schnellere Reaktionszeiten erhalten. Die hierbei entstehenden Mehrkosten sind mit den Mehrkosten einer redundanten Funknetzauslegung abzugleichen.		
GS-9	TMS-/FRMCS-Konzeption und Lastenhefte erarbeiten		DB Netz
GS-10	Funkausleuchtung Abstimmung mit den privaten Providern zur Verbesserung der Funk-Ausleuchtung in den Bereichen, in denen Züge beginnen oder enden (für ATO-Light)	Abhängig von Entscheidung zur Umsetzung der per Funkübertragung übermittelten Journey Profiles für ATO	DB Netz
GS-11	Funknetzplanung Planung zur Erneuerung des Bahn-Betriebsfunknetzes des Knotens Stuttgart (Projekt BSS-Reinvest) für ETCS und zukünftige Anforderungen anpassen		DB Netz
GS-12	Verifikation Ergebnisse der AG GSM-R sollten in Bezug auf das angepasste ETCS-Fernbahn-Konzept (Entfall von „ETCS signalgeführt“) verifiziert werden		DB Netz, PSU

1.5.2.3 Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausrüstung

Tabelle 3: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausrüstung

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
EF-1	ETCS-Fahrzeugausrüstung Die Ausrüstung der Fahrzeuge sollte auf Basis der SRS 3.6.0, erfolgen.	-	DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
EF-2	ETCS-Fahrzeugausrüstung Die Fahrzeug-Ausschreibung sollte mit ATO auf Basis der „technical opinion“ der ERA erfolgen.	-	DB AG
EF-3	ETCS-Fahrzeugausrüstung Die Fahrzeugumrüstung sollte abgestimmt auf die Streckenausrüstung erfolgen, da sie die Basis für eine Optimierung des Gesamtsystems bzgl. Qualität und Verfügbarkeit bildet. Da-bei sind insbesondere Vorlaufzeiten für die Ausschreibung aber auch Umsetzungs- und Umrüstungszeiten zu berücksichtigen.	-	DB AG
EF-4	ETCS-Fahrzeugausrüstung Im Vertrag mit dem ETCS-Fahrzeugausrüster sollten Themen wie Lieferungen von Logfiles und Messmöglichkeiten enthalten sein.	-	DB AG
EF-6	ETCS-Fahrzeugausrüstung Sicherstellung der Umrüstkapazität für die Fahrzeuge	Vollständige Umrüstung erreichbar bis 06/2025; Reduzierung der Umrüstzeiten durch ortsnahen Werkstattkapazitäten, um die aufwendigen (zugelassene Fahrzeugführer, Koordinationsleistungen, Überführungskosten) und zeitintensiven Überführungsfahrten zu vermeiden bzw. vom Umfang her gering zu halten.	DB Regio
EF-5	ETCS-Betrieb Betrifft Aufstarten im Regelbetrieb, siehe ET-8, Tabelle 15, Kapitel 2.1.1.2.	-	

1.5.2.4 Systemkomponente ATO

Tabelle 4: Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung von ATO bei der S-Bahn Stuttgart

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-1	<p>Aufbau einer kontinuierlichen Kommunikation</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.2.1 und Kapitel 2.2.7</p> <p>Für die Implementierung von ATO ist eine kontinuierliche, IP-basierte Kommunikation zwischen der ATO-OB (fahrzeugseitig) und der ATO-TS (streckenseitig) notwendig.</p> <p>Um diese Kommunikation sicher zu stellen, wird der Aufbau eines Funknetz nach dem zukünftigen 5G-Standard FRMCS empfohlen, wobei eine Migration über die bestehende fahrzeuginternen WLAN-Router-Lösung, unter Einsatz von Public 4G möglich ist.</p>	<p>Es wird empfohlen für die ATO relevante Datenübertragung den Aufbau eines Funknetzes nach dem zukünftigen 5G-Standard FRMCS umzusetzen, wozu ausreichende Ressourcen bei der Spezifikation, den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden sein müssen.</p>	<p>PSU DB Netz AG</p>
ATO-2	<p>Automatische Türsteuerung</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.2.5</p> <p>Es wird empfohlen keine automatische Türsteuerung im Rahmen der ATO-Implementierung umzusetzen</p>	<p>Die Entscheidung, kein automatisches Türmanagement umzusetzen, muss spezifisch für das Projekt getroffen, dokumentiert und mit der generischen ATO-Entwicklung abgestimmt werden.</p>	<p>PSU DB Netz AG</p>
ATO-3	<p>Adhäsionsmanagement</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.5.4</p> <p>Es wird empfohlen kein (automatisches) Adhäsionsmanagement im Rahmen der ATO Implementierung umzusetzen</p>	<p>Die Entscheidung, kein Adhäsionsmanagement umzusetzen, muss spezifisch für das Projekt getroffen, dokumentiert und mit der generischen ATO-Entwicklung abgestimmt werden.</p>	<p>PSU DB Netz AG</p>
ATO-4	<p>S-Bahn spezifische Betrieblichen Szenarien</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.3</p> <p>Basierend auf der betrieblichen Analyse in der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird empfohlen S-Bahn-spezifische, betriebliche Szenarien und Abläufe für den ATO-Betrieb zu entwickeln.</p> <p>In diesem Rahmen sollten auch alle relevanten Situationen des gestörten Betriebes (Degraded Modes) bzw. Notfall-Situationen betrachtet werden.</p>	<p>Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.</p>	<p>S-Bahn Stuttgart</p>

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-5	ATO-Lastenhefterstellung Um die generische Entwicklung und Implementierung von ATO im Netz der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen ein generisches Lastenheft auf Basis der internationalen Standards für ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) zu erstellen.	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG
ATO-6	Betriebliches Regelwerk erstellen Um den generischen Betrieb von ATO im Netz der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen das betriebliche Regelwerk der DB Netz AG dementsprechend weiterzuentwickeln.	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG
ATO-7	Internationale Spezifikation begleiten Siehe Kapitel 2.4.2.3 Um Anwendbarkeit der ATO relevanten Spezifikationen, insbesondere aus dem internationalen Kontext im Sinne der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen die derzeitige Entwicklung der Subsets aktiv zu unterstützen und ggf. über den CR-Prozess zu beeinflussen.	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG
ATO-8	Definition Systemverantwortung Es wird empfohlen für das Gesamtsystem ATO, mit den verteilten Komponenten ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) die Systemverantwortung explizit zu definieren.	---	DB Netz AG
ATO-9	Definition von buchhalterische Einordnung Es wird empfohlen für das Gesamtsystem ATO, mit den verteilten Komponenten ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) die buchhalterische Abbildung / Einordnung in entsprechende Anlageklassen explizit zu definieren.	---	DB Netz AG
ATO-10	Erstellung BAST für ATO Es wird empfohlen für die Implementierung des Systems ATO im konkreten Projekt der S-Bahn Stuttgart zu klären, ob eine BAST für ATO erstellt werden muss. Wenn eine BAST für ATO erstellt werden muss, sollte frühzeitig definiert werden, in welchem Dokumentationsrahmen diese BAST eingebettet werden kann.	---	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-11	<p>Einzelentscheidungen ATO-Implementierung</p> <p>Im Rahmen der Machbarkeitsstudie sind eine Reihe von spezifischen ATO-Funktionen und / oder Parametern diskutiert worden. Es wird empfohlen, dass basierend auf diesen Diskussionen die weiterführende Implementierung entschieden und sichergestellt wird.</p> <p>Dies betrifft zum Beispiel die ATO-OB Integration in das Fahrzeug bzw. mit dem Fahrzeugbus TCMS, die Implementierung des ATO-Startknopfes im Fahrzeug oder auch das Übertragungsregime von Segment Profiles, die Bedienung ATO-TS, die Übertragung von Statusmeldungen zwischen ATO-OB und ATO-TS etc.</p>	Für die weiterführende Analysen zu den betreffenden Funktionen müssen ausreichende Ressourcen für die betrauten Stellen vorhanden sein.	PSU S-Bahn Stuttgart DB Netz AG
ATO-12	<p>Entwicklung TMS</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.8</p> <p>Um die aufgezeigten Potentiale des Szenarios ATO/TMS für die DB Netz AG zu realisieren, wird empfohlen eine konzern- und netzweite Entwicklung und Implementierung eines einheitlichen TMS vorzunehmen.</p>	Es muss eine grundsätzliche Entscheidung herbeigeführt werden, dass eine konzern- und netzweite Entwicklung eines TMS veranlasst wird, um dann ausreichende Ressourcen bei allen relevanten Stellen sicherzustellen.	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-13	<p>ATO-Ausrüstungsbereich Strecke</p> <p>Der ATO-Streckenausrüstungsbereich ist zu maximieren und mit dem ETCS-Streckenausrüstungsbereich abzugleichen. Dabei ist der Netzbereich der S-Bahn Stuttgart sowie der Netzbereich des gesamten Regionalverkehrs im Knoten Stuttgart zu berücksichtigen.</p> <p>Mit der Maximierung des ATO-Streckenausrüstungsbereichs können folgende Ziele verfolgt werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ausgangspunkt S-Bahn-Stammstrecke: Hier ist das verfolgte ATO-Ziel Kapazitätsgewinn und Betriebsqualität, woraus sich die Empfehlung ableiten lässt, ATO auf der Stammstrecke und den Zubau-Strecken zu implementieren 2. Darauf aufbauend und analog zu der ETCS-Kostenempfehlung KS-2 („Maximierung des ETCS-Streckenausrüstungsbereichs“) ist nun grundsätzlich die Maximierung des ATO-Streckenausrüstungsbereichs anzustreben: <ol style="list-style-type: none"> a. Insbesondere um die bestehende Ausrüstung der Fahrzeuge maximal nutzen zu können b. Um die Investitionskosten durch die parallele ETCS- und ATO-Streckenausrüstung zu minimieren <p>Um die Investitionssicherheit für die spätere Hochrüstung der Leittechnik auf ein integriertes TMS für das gesamte, relevante Netz sicherzustellen</p>	---	DB Projekt Stuttgart Ulm GmbH

1.5.2.5 Planungsanalyse

Tabelle 5: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Planungsanalyse

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
PA-1	Es wird empfohlen eine separate Planungsrichtlinie für ETCS L2 bei S-Bahnen zu erstellen	Die Planungsvorschrift muss als Grundlage für die Überarbeitung der EP und der anschließenden AP vorliegen.	DB Netz AG
PA-2	<p>Es wird empfohlen Querprofile von allen Signalstandorten zu erstellen, um die erforderliche Profilfreiheit für die Montage der Signale und Ne 14-Tafeln auch bei den begrenzten Tunnelverhältnissen nachzuweisen.</p> <p>Für die Ne 14-Tafeln sind außerdem Anpassungen der Halterungen erforderlich.</p> <p>Für die Montage der Blockkennzeichen auf der Schwelle ist eine UiG zu erstellen.</p>	Vermessung der geplanten Standorte, um die Realisierung der Planung nachzuweisen.	DB PSU
PA-3	Es wird empfohlen für die Abweichungen (keine TBK im Bereich 300 m vor einem Vorsignal; keine weitere Unterteilung eines langen Gleisfreimeldeabschnitts) vom LH ESTW eine UiG zu erstellen.	Die Legitimation der Abweichungen von LH ESTW ist Grundvoraussetzung für die geplante ETCS-Ausrüstung.	DB PSU (Erstellung) DB Netz (Freigabe)
PA-4	Es wird empfohlen nur zwingend erforderliche Rangierstraßen vorzusehen und dabei zu berücksichtigen, dass eine Unterteilung durch TBK nicht möglich ist.	Die Rangierstraßen sind nur im Bereich von Abstellanlagen (wo keine TBK erforderlich sind) zwingend notwendig. Eine technische Lösung für Rangierstraßen mit einer Teilung durch TBK liegt derzeit nicht vor. Eine mögliche Bereitstellung von Zügen an Bahnsteigen muss als Zugfahrt erfolgen.	DB PSU
PA-5	Eine Verkürzung von Mindestblocklängen auf 30m ist gemäß CR 953 unter bestimmten Bedingungen denkbar. Dies muss in der Entwurfsplanung verifiziert werden.	---	DB PSU

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
PA-6	Gemäß heutigem Regelwerk wäre bei der vorgesehenen Anordnung der Blockkennzeichen „Rücken an Rücken“ für jedes Blockkennzeichen eine einzelne Balise zu planen. Technisch ist aber nur eine Balise für beide Blockkennzeichen erforderlich. Dementsprechend wird empfohlen, das Optimierungspotential bei der Anordnung der Datenpunkte an Blockkennzeichen (DP Typ 22) in den weiteren Planungsphasen weiterzuverfolgen und durch eine UiG/ZiE zu legitimieren bzw. in das neu zu erstellenden S-Bahn-Planungsregelwerk aufzunehmen.	---	DB PSU (Erstellung) DB Netz (Frei-gabe)
PA-7	Es wird empfohlen bereits während der Erstellung der BAST mit dem Betrieb festzulegen nur kurze D-Wege für 40 km/h für die Rückfallebene Ks vorzusehen, da eine Unterteilung von D-Wegen durch TBK nicht möglich ist. Ebenso ist der Verzicht auf alleinstehende Zs 3 zur Heraufsignalisierung zu berücksichtigen.	Für den Regelbetrieb unter ETCS sind kapazitätsfördernde Blockteilungen durch TBK den längeren D-Wegen in der Rückfallebene unter Ks vorzuziehen. Eine technische Lösung für die Anordnung von TBK in D-Wegen liegt derzeit nicht vor.	DB Netz

1.5.2.6 Laufzeiten und Verfügbarkeit

Tabelle 6: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Laufzeiten und der Verfügbarkeiten

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
LA-1	SCI-RBC CRs Es wird empfohlen die CRs „Beanspruchung Signal SAG“ und „Verschlussmeldung Weiche SAG“ zur SCI-RBC umzusetzen, um die zusätzlichen Verzögerungszeiten an Stellrechnergrenzen für ESTW-Meldungen von bis zu 8 s eliminieren zu können.	Die CRs müssen bis zur Veröffentlichung der Ausschreibung in die Lastenhefte (SCI-RBC, BTSF, F-Lastenhefte) überführt werden.	DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
LA-2	Laufzeiten Es wird empfohlen für die Ausschreibung Qualitätskriterien bzgl. Laufzeiten in Absprache mit I.NPS zu definieren bzw. vorhandene Anforderungen zu präzisieren	Diese Laufzeiten müssen bis zur Ausschreibung definiert sein, damit sie in die Ausschreibung eingehen können. Grundlage für die Definition sollte die Spalte „C“ (für Simulation ETCS+ und alle weiteren Szenarien) aus Abbildung 65 sein.	DB AG
LA-3	<u>Verfügbarkeit</u> Die InGe empfiehlt die Verwendung eines selbstkorrigierenden Achszählsystems, das in der Lage ist, Auswirkungen fehlerhaft zählender Radsensoren auf den Betrieb zu minimieren	Die Integration des Systems muss in die Stellwerks- bzw. Infrastrukturplanung einbezogen werden	DB Netz AG

1.5.2.7 Betriebsanalyse

Tabelle 7: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Betriebsanalyse

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
BA-1	Die zur Umsetzung des Szenarios ETCS+ notwendigen Maßnahmen werden gesondert in den jeweiligen Hauptaufgaben beschrieben. Auf eine redundante Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet.	---	---
BA-2	Zur Stabilisierung der Betriebsqualität in der Rückfallebene wird eine Absenkung auf 22 Züge pro Stunde und Richtung empfohlen.	Für den Störungsfall (z. B. Ausfall der Systemkomponente ETCS / RBC) sollte eine betriebliche Vorgehensweise definiert werden, die von den Zügen zu befolgen ist (z. B. Ablauf T_NVCONTACT, manueller Wechsel nach Level NTC usw.).	
BA-3	Beauftragung Erstellung Gamma-Bremsmodell	Eindeutige Aufgabenstellung für die Untersuchung	VRS, DB Regio AG
BA-4	Planung bzgl. der Anhebung der Streckengeschwindigkeit in der Stammstrecke und Hasenbergtunnel		DB Netz AG

1.5.2.8 Ausrüstungsstrategien

Tabelle 8: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AS-1	Vorgelagerte Entscheidung zur Umsetzung der Empfehlung der gemeinsamen Machbarkeitsstudie von Auftraggeber und Auftragnehmer zu dem Systemkonzept ETCS+ mit „ATO-Light“ im Betrachtungsraum.	Mit dem Entscheid verbunden ist die Notwendigkeit die erforderlichen Vorarbeiten wie die Erstellung der VAST, der BAST und der TAST (letztere mit der Studie größtenteils bereits gegeben) umgehend zu beauftragen	DB AG / DB Netz, VM, VRS	10/2018
AS-2	Umgehende Klärung der Finanzierungsmöglichkeiten für die Strecken- und für die Fahrzeugausrüstung als maßgebliche Voraussetzung für Planung und Realisierung	Nutzung der “CEF Transport call for proposals” der European Commission, die für 2019 in Aussicht gestellt sind, aber eine bestehende Finanzierung erfordern.	EBA / Bund, DB AG / DB Netz, VM, VRS, EU / EC	12/2018
AS-3	Entscheidung zum Kauf zusätzlicher S-Bahn-Fahrzeuge, um die Voraussetzungen für die Umrüstung der Flotte bis 06/2025 und damit für ETCS+ zu schaffen.	Erfolgreiche Abstimmung mit Bombardier zur Nutzung der bestehenden Vertragsoptionen für Fahrzeugneubestellungen über Dezember 2018 hinaus	VRS	12/2018

1.5.2.9 Prozesse

Tabelle 9: Handlungsempfehlungen für die Durchführung von Tests

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AT-1	Rechtzeitige Sicherstellung der Nutzung der empfohlenen Strecke Berlin-Dresden als Teststrecke für die Zulassung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge auf einer ETCS Baseline 3-Strecke	Inbetriebnahme der Strecke Berlin – Dresden gemäß Planung der 1. Baustufe zum 04.12.2020. Einrichtung eines Testkorridors (ggf. Zusatzkosten) für die Fahrzeugzulassung, der die erforderlichen Streckentests erlaubt.	DB Regio, DB Netz, Programmteam	Spätestens ab 12/2021
AT-2	Sicherstellung der termingerechten Bereitstellung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge an der Teststrecke.	Rechtzeitige Umrüstung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge und Abschluss der erforderlichen Labortests zur Durchführung der Test- und Erprobungsfahrten im Zuge der Zulassung der Fahrzeugausstattung mit ETCS und ATO.	DB Regio, Programmteam	Spätestens ab 12/2021
AT-3	Termingerechte Bereitstellung der vorgesehenen „Teststrecke“ im Knoten Stuttgart für die Durchführung der Tests der ETCS-Streckenausrüstung und Bereitstellung der in Betrieb genommenen ETCS-Strecke Wendlingen – Ulm für die Tests und die Zulassung der Serienfahrzeuge beider S-Bahn-Baureihen	Fertigstellung der Stellwerkserneuerung für den Teststreckenanteil und Installation der ETCS-Streckenausrüstung in diesem Bereich (vorgesehene technische IBN STW in 12/2023 für Test der ETCS-Ausrüstung ab 01/2024 [vor IBN])	DB Netz, Programmteam	Ab 01/2024
AT-4	Für die ATO wird empfohlen, ATO-Tests erst durchzuführen, wenn für ETCS eine gewisse Stabilität nachgewiesen wurde, da die Tests (Testfallbeschreibung, Testdurchführung, Testdokumentation) und die Fehlersuche deutlich komplexer werden, wenn ETCS und ATO gemeinsam getestet werden.	Die technische IBN von ETCS kann termingerecht erfolgen, so dass ausreichend Zeit für die Erprobung und IBN von ATO bleibt.	DB Regio, DB Netz, Programmteam	Ab 06/2025
AT-5	Grundsätzlich sollte ein Systemintegrator der DB-Netz etabliert werden, der in die Durchführung aller nachfolgend beschriebenen	Umsetzung der empfohlenen Organisation mit einem festen Systemintegrator (Integration	DB Regio, DB Netz, Programmteam, ggf. auch Dritte	Ab 2018

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	Tests federführend mit einbezogen wird. Der Systemintegrator sollte auch die Vorgaben für die Durchführung der Tests erstellen.	Fahrzeug – Strecke und Integration der neuen Technik im System S-Bahn) von Anfang an.		
AT-6	Labortests der First in Class Fahrzeuge sollt der Fahrzeugausrüster durchführen. Es wird auch empfohlen eine Beteiligung des Programms ETCS S-Bahn Stuttgart (inkl. der DB Regio und des Projektes PSU) vertraglich zu vereinbaren.	Einheitlicher Fahrzeugausrüster; wenn es nicht der Fahrzeughersteller ist, ist dieser in die Umsetzung der Tests mit einzubinden (muss vermutlich ohnehin erfolgen aufgrund der nicht offen gelegten Fahrzeug-Schnittstelle Train Control and Management System (TCMS))	DB Regio, Programmteam	Ab 2Q. 2021
AT-7	Die Labortest der Strecke sollten der Streckenausrüster durchführen. Es wird auch hier empfohlen eine Beteiligung des Programms ETCS S-Bahn Stuttgart (inkl. der DB Regio und des Projektes PSU) vertraglich zu vereinbaren.		DN Netz, Programmteam	Ab 01/2022
AT-8	Aus Sicht des Programms sind Fehler/Abweichungen der Teilsystem relevant, welche sich auf das betriebliche Verhalten und die Sicherheit des Gesamtsystems auswirken. Daher wird empfohlen, diese Fehler/Abweichungen im programmeigenen Fehlermanagement Fahrzeug – Strecke vom Systemintegrator zu behandeln.	Einrichten eines Fehlermanagements mit allen einzubeziehenden Stakeholdern (Hersteller, Betrieb, Technologiemanagement, Großprojekte, Gutachter, EBA, ...).	Programmteam	Ab 01/2021
AT-9	Da es für die ATO keine betrieblichen Szenarien gibt, wird empfohlen, betriebliche Szenarien zu erstellen, die als Grundlage für die betriebliche Systemvalidierung dienen.	Idealerweise sind diese betrieblichen ATO-Szenarien Grundlage der Ausschreibungsunterlagen Fahrzeugausstattung und ATO-Anteil RBC.	DB Regio, RVS, (DB Netz)	Ab 2019
AT-10	Grundsätzlich wird empfohlen frühzeitig ein grobes Abnahmee- und Inbetriebsetzungskonzept unter Einbeziehung des wahrscheinlich zukünftigen Abnahmepräfers zu erstellen. Dieses Kon-	Bestimmung der Abnahmepräfer und gesonderte Beauftragung des Konzepts an noch zu bestimmende Fachleute.	Programmteam, DB Netz	Ab 2021

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	zept muss jede Bauphase beinhalten und muss Fragen beantworten.			

Tabelle 10: Handlungsempfehlungen für Zulassung der Infrastruktur

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AIZ-1	Sicherstellung der Freigabe der aktuellen, begutachteten ETCS-Lastenhefte mittels Prüferklärung als belastbare Beauftragungsgrundlage	Voraussetzungen für die Prüferklärung sind gegeben (LH und Nachweisdokumentation mit Gutachten sind vollständig und abgeschlossen)	DB Netz (I.NPS 32)	Bis Ende 2018
AIZ-2	Sicherstellung der Finalisierung, Begutachtung und Freigabe der passfähigen ETCS-Planungsrichtlinie 819.1344 (zu den aktuell freizugebenden ETCS-Lastenheften)	Prüferklärte generische Lastenhefte ETCS Level 2 Baseline 3	DB Netz (I.NPS 32)	Bis 02/2019
AIZ-3	Prüfung der Entwurfsplanung gegen die freigegebene Planungsrichtlinie und ggf. Anpassung der EP zur Übergabe an PT1 Planer	Freigegebene generische PlanRil 819.1344 BL3 (per TM)	Planer (EP)	Bis 04/2019
AIZ-3	Prüfung der zugelassenen ETCS-Lastenhefte für Baseline 3 und der zugehörigen Planungsrichtlinie auf Ergänzungsbedarf für die S-Bahn Stuttgart entsprechend den identifizierten Anforderungen	Vollständige Anforderungsübersicht von ETCS+ an das RBC (Funktionsbasis)	DB Netz (I.NPS 32), Programmteam	Bis 02/2019
AIZ-4	Sicherstellung der Entwicklung und Zulassung der für die S-Bahn-Infrastruktur auf Basis der empfohlenen technischen Lösung mit ETCS+ und „ATO-Light“ erforderlichen Ergänzungen in der Lastenheftspezifikation	Abschluss der Zulassung der ETCS LH-CR wie zur Verkürzung der Teilblockabständen (CR 953) Entwicklung der LH-CR zur Berücksichtigung von ATO in der RBC-Spezifikation („ATO-Light“) durch die zuständige ETCS-Fachabteilung	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche Bereich ATO), Programmteam	09/2019
AIZ-5	Prüfung auf Erfordernis und ggf. Erstellung und Freigabe (Rückwirkungsfreiheit) Lastenheft ATO-TS	Anforderungen an ATO-TS liegen abgestimmt vor	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche	09/2018

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	(mit Anbindung an Kommunikationsmodul für die Übertragung der Journey Profiles gemäß Empfehlung/weiterer Planung)	Siehe hierzu auch Handlungsempfehlung „ATO-5“	Bereich ATO), Programmteam	
AIZ-6	Erstellung und Freigabe der Ergänzungen zur Planungsrichtlinie 819.1344 BL3 für die erforderlichen ETCS LH-CR (mit ATO-TS)	Zugelassene ETCS-Lastenheft-CR	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche Bereich ATO)	11/2019
AIZ-7	Anpassung der Planung aufgrund der hinzugekommenen Planungsgrundlagen (CR-basiert)	Vollständige ergänzende Planungsgrundlagen (CR)	PT1-Planer	12/2019

Tabelle 11: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Fahrzeuge

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AFZ-1	Erstellung eines Zulassungskonzeptes als Rahmen für die Ausschreibungsanforderungen	Weitere Rücksprache mit den Zulassungsbehörden zur Anwendung der Zulassungsverfahren und der erzielbaren Abgrenzungen	DB Regio, VRS, Programmteam	Ab 12/2018
AFZ-2	Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller die Offenlegung der TCMS-Schnittstelle für die Integration von ETCS und ATO bzw. die Herstellermittwirkung an der vorgesehenen Fahrzeugumrüstung	Konzeption zur Ausschreibung und der Zielsetzung des Fahrzeuggbetreibers (z. B. Herstellerunabhängigkeit oder Ausstattung aus einem Lieferantenhaus?); Erstelltes Zulassungskonzept	DB Regio, VRS, Programmteam	Ab 01/2019
AFZ-3	Einbindung eines externen Experten mit langjähriger und umfassender Erfahrung mit Verfahren zur Inbetriebnahmegenehmigung von Schienenfahrzeugen und in der Zulassung von ETCS- und ATO-Fahrzeugumrüstungen	Ausreichende Finanzierung für die Beauftragung; Identifizierung geeigneter Experten, idealer Weise mit existierendem Rahmenvertrag für eine kurzfristig umsetzbare Beauftragung	Programmteam, DB Regio, VRS	Ab 01/2019
AFZ-4	Aufsetzen eines systematischen Risikomanagement für die Zulassung von ETCS und ATO zur Absicherung des Zulassungsprozesses und Sicherstellung der Einhaltung	Entscheidung über Vergabe- und GU-Modell	Programmteam	Ab 01/2019

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	der Zeitschienen (ggf. durch Dritten DL). Dies auch um eventuelle Änderungen in den gesetzlichen Regelungen frühzeitig nachzukommen, um die IBG nach gültigem Gesetzes- und Zulassungsstand sicherzustellen	Beauftragung eines Dienstleisters zur Zulassungsunterstützung		

Tabelle 12: Handlungsempfehlungen für die Vergabe

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AV-1	Gemeinsame Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für die Regionalfahrzeuge und die S-Bahn Stuttgart mit Erstellung eines Ausschreibungskonzeptes mit Ausformulierung der Ziele des Betreibers u.a. zur Hersteller(un)abhängigkeit, Erwartung an die Life-Cycle-Kosten, der Verantwortungsübernahme bei der Zulassung, etc.	Ausrüstungsvorstellungen entsprechen sich weitestgehend, verbindliche Terminschiene 06/2025 wird beidseits angestrebt; Beachtung der mit der Studie empfohlenen Anforderungen ETCS/ATO zur Anpassung der Fahrzeuge	DB Regio, VRS	Ab 12/2018
AV-2	Gebündelte Ausschreibung für die 13 Baureihen und die über 350 auszurüstenden Fahrzeuge (inkl. der zusätzlich zu bestellenden Neufahrzeuge für die S-Bahn)		DB Regio, VRS, DB Einkauf	Ab 03/2019

1.5.2.10 Kostenschätzung

1.5.2.10.1 Schritt 1

Tabelle 13: Handlungsempfehlungen abgeleitet aus der Kostenermittlung

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
KS-1	Einsparung von Lichtsignalen Das Szenario ETCS+ ist kostenseitig vorteilhafter gegenüber dem Szenario ETCS-Basis aufgrund der Einsparungen, die gegenüber dem Szenario Ks ohne ETCS aber auch dem Szenario ETCS-Basis möglich sind. Dabei werden die Kosteneinsparungen insbesondere durch den Wegfall von Investitionskosten sowie pauschalen Planungskosten und Kosten für Baustellen-einrichtung und Sipo/Sakra durch den Wegfall bzw. die Nicht-Installation von Lichtsignalen realisiert. Um diese Einsparungen zu realisieren oder weitere zu steigern sollten auf die Verwendung von Lichtsignalen, gerade auch im Zusammenhang mit der Gestaltung der Rückfallebene weitestmöglich verzichtet werden.	Das Szenario ETCS+ muss, inklusive der Rückfallebene, mit möglichst wenigen Lichtsignalen umgesetzt werden	PSU DB Netz AG
KS-2	Maximierung des ETCS Streckenausrüstungsbereichs In den Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ sind mit den Kostenkategorien „ETCS-Ready integrierte Bedienplätze für Level 2“ für die STW-Aufrüstung und „Tests“ sowie „Basis-Module“ für die ETCS Streckenausrüstung, signifikante Kostentreiber nicht direkt vom Umfang des ausgerüsteten ETCS-Streckenbereichs abhängig. Für diese Kostenkategorien bleibt die Höhe der jeweiligen Kosten bis zu einer bestimmten Größe des ausgerüsteten ETCS Streckenbereichs konstant oder steigt unterproportional, um dann überproportional anzusteigen („Sprung-fixe Kosten“). Unter der Annahme, dass die ETCS-Streckenausrüstung, auch größere ETCS-Streckenbereiche steuern kann, lässt sich daraus die Handlungsempfehlung ableiten, den ETCS-Ausrüstungsbereichen über den Untersuchungsbereich der Machbarkeitsstudie im ersten Betrachtungsraum hinaus auszudehnen.	Der ETCS-Streckenausrüstungsbereich für die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ muss bis an die Kapazitätsgrenze der ETCS-Streckenausrüstung ausgedehnt werden	PSU DB Netz AG

1.5.2.10.2 Schritt 2

Tabelle 14: Handlungsempfehlung aus Sicht des zweiten Schrittes der Kostenschätzung

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
KS-1	Einsparung von Lichtsignalen	Siehe erster Schritt	
KS-2	Maximierung des ETCS Streckenausrüstungsbereichs	Siehe erster Schritt	
KS-3	<p>Vermeidung einer Verschiebung der Inbetriebnahme</p> <p>Die Kostenermittlung für eine etwaige Verschiebung der Inbetriebnahme über 2025 hinaus und damit ein Weiterbetrieb des RSTWs hat gezeigt, dass damit signifikante Einmal-Kosten sowie laufenden Kosten verbunden sind.</p> <p>Daraus lässt sich als Handlungsempfehlung ableiten, dass die Verschiebung grundsätzlich zu vermeiden und wenn nicht möglich, zumindest soweit wie möglich zu begrenzen ist.</p>	<p>Die Verschiebung des Inbetriebnahmetermins (später in der Projektumsetzung) sollte gänzlich vermieden werden bzw. wenn nicht möglich doch soweit wie möglich begrenzt werden.</p>	PSU DB Netz AG
KS-4	Verifikation der Mengengerüste der Ausrüstungsbereiche 4, 5, 6	In einem weiteren Schritt, ggf. im Rahmen der Entwurfsplanung, sollten die Mengengerüste, die der Kostenermittlung, insbesondere für den erweiterten Betrachtungsraum, zugrunde gelegt worden sind, weiter erhärtet werden.	PSU DB Netz AG
KS-5	Härtung der Kostenkalkulation Ausrüstungsbereich 6	Neben der Erhärtung der Mengengerüste der Ausrüstungsbereiche 4, 5, 6 (siehe KS-4) sollte insbesondere für den Ausrüstungsbereich 6 (Neuhausen) die Kostenkalkulation nochmals explizit mit den MV-Kalkulationstools für ESTW, ETCS und GSM-R durchgeführt werden, um die ermittelten Kostenzahlen zu erhärten.	PSU DB Netz AG
KS-6	Betriebskosten / Wirtschaftlichkeits-rechnung	Um die Beschränkungen der reinen Gesamtumfangsbetrachtung aufzuheben, sollten in einem weiteren Schritt Betriebskosten ermittelt werden und eine Wirtschaftlichkeits-rechnung sowie	PSU DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
		eine Abbildung der Kosten über Jahresscheiben erfolgen.	

2 Schwerpunkt Technisches Zielbild

Dieses Kapitel entspricht dem Arbeitspaket 2 „Technisches Zielbild“ aus der Leistungsbeschreibung.

2.1 Systemkomponente ESTW und ETCS (Streckenseite)

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA1 des Arbeitspakets AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.1.1 Überblick

2.1.1.1 Ziele der Hauptaufgabe

Nach dem Verständnis der InGe verfolgt die Technikanalyse bezüglich des Teilsystems ETCS-Strecke die folgenden Ziele:

- Prüfung, ob bahnbetriebliche Abläufe und betriebliche Anforderungen der S-Bahn Stuttgart mit ETCS Level 2 unter Berücksichtigung der derzeitigen Spezifikation erfüllt werden können oder ob eine Anpassung der Anforderungsbasis notwendig ist.
- Betrachtung möglicher Rückfallebenen
- Betrachtung des Hochleistungsblocks hinsichtlich:
 - o Realisierungsmöglichkeiten
 - o Vor- und Nachteile im Zusammenhang mit der Implementierung
 - o Prüfung, ob die ETCS-Lastenhefte BTSF3 (inkl. Teil-LH) mit den Anforderungen der S-Bahn Stuttgart vereinbar sind
 - o notwendige, zusätzliche Anforderungen zu erkennen, zu formulieren und grundsätzlich zu bewerten
- Gruppierung von neuen Anforderungen zu Ausrüstungsszenarien

2.1.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Grundsätzlich ist die Machbarkeit der ETCS-Ausrüstung der S-Bahn-Stammstrecke gegeben. Um das Ziel einer verbesserten Betriebsqualität zu gewährleisten, sind Änderungen des BTSF und der Planungsrichtlinie erforderlich.

Tabelle 15: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente ETCS

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-1	ETCS-Streckenausrüstung Die Ausrüstung der Strecke sollte auf Basis der SRS 3.4.0 erfolgen.	-	DB AG
ES-2	ETCS-Streckenausrüstung Die Mindestlänge von Zugfolgeabschnitten entsprechend BTSF ist zur Erreichung der Qualitätsverbesserung zu reduzieren.	Konsolidierung des CR953. Umsetzung des konsolidierten CR953. Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-3	ETCS-Streckenausrüstung Eine Doppelausrüstung mit alleinstehenden Ne 14-Tafeln, Ks-Signalen und PZB ist vorzusehen.	Koexistenz von alleinstehenden Ne 14-Tafeln mit Ks-Signalen für Szenario ETCS+ ist betrieblich zulässig und technisch machbar.	DB AG
ES-4	ETCS-Streckenausrüstung Eine neue Anforderung bezüglich der Nichtaufnahme nach ETCS L2 bei Fahrten welche Befehlstaste erfordern, ist in das BTSF aufzunehmen („gleitende Aufnahme“).	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-5	ETCS-Streckenausrüstung Eine adaptierte Planungsregel für Datenpunkte Typ 26 ist in das BTSF und in die Planungsrichtlinie 819.1344 aufzunehmen.	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-6	<p>ETCS-Streckenausrüstung</p> <p>Eine adaptierte Anforderung für den Wert der Release Speed ist in das BTSF und in die Planungsrichtlinie 819.1344 aufzunehmen.</p> <p>Ein Minimalwert von 5 km/h ist zwingend erforderlich, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H-Tafeln in unmittelbare Nähe vor Signalen, an denen Fahrerlaubnisse enden können, erreicht werden müssen • rückwärtige Weichenabschnitte und Schaltabschnittsgrenzen frei gefahren werden müssen <p>Eine aus Bremsversuchen ermittelte maximal zulässige Release Speed, welche spezifisch für den zur Verfügung stehenden Durchrutschweg / Gefahrpunktabstand projektiert werden kann, könnte grundsätzlich und insbesondere in der Anfahrt zu Bahnsteigen deckenden Signalen zur Verbesserung der Betriebsqualität beitragen.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung beauftragten Stellen vorhanden.	DB AG
ES-7	<p>ETCS-Streckenausrüstung</p> <p>Im Vertrag mit dem ETCS-Streckenausrüster sollten Themen wie Lieferungen von Logfiles und Messmöglichkeiten enthalten sein.</p> <p>Darüber hinaus sollten konkrete Qualitätskriterien, wie zum Beispiel Laufzeiten und Verfügbarkeitswerte in den Vertrag mit dem ETCS-Streckenausrüster integriert werden.</p>		DB AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ES-8	ETCS-Streckenausrüstung Die InGe empfiehlt grundsätzlich Bad Cannstatt mit ETCS Level 2 auszurüsten. (Siehe u.a. Kapitel 2.1.3.9 oder 2.5.3.1.3) Sollten aber die ETCS Level L1LS Ausrüstungspläne umgesetzt werden, muss eine weiterführende (u.a. technische und planerische) Betrachtung der Leveltransition erfolgen. Leveltransitionen von ETCS L2 nach ETCS L1 Limited Supervision und umgekehrt sind zurzeit nicht im BTSF beschrieben. Anforderungen für diese Transitionen müssen erstellt werden, um die Übergänge nach Bad Cannstatt realisieren zu können.	-	DB AG
ES-9	ETCS-Betrieb Grundsätzlich ist das Aufstarten im Regelbetrieb bei der S-Bahn Stuttgart in den Streckenteilen des Betrachtungsraumes nicht notwendig. Für die Wendeschleife Schwabstraße, und die dort gelegentlich aufstartenden Züge empfiehlt die InGe, dass mit PZB aufgestartet wird und die Aufnahme nach ETCS L2 auf der Stammstrecke erfolgt.	-	DB AG
ES-10	Stellwerk Funktionen für das Zusammenfassen von Achszählschnitten sind stellwerksseitig zu spezifizieren.	Ausreichende Ressourcen bei den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB AG

2.1.1.3 Methodik und Eingangsdaten

In den AGs Anforderungen und Fahrzeuge wurden folgende Aspekte betrachtet:

- kurze Signalabstände
- betrieblich-funktionale Anforderungen
- Durchrutschwege und Release Speed
- Planungsvorgaben (generische Vorgaben, nicht die konkrete Planung)
- Erweiterbarkeit (Anforderungsbasis- Fernbahn und S-Bahn)

Dazu wurden Anforderungen der ETCS-L2-Anforderungsdokumente (siehe Tabelle 16) analysiert und der Input aus anderen Arbeitsgruppen verarbeitet, soweit generische Anforderungen betroffen waren.

In Tabelle 16 wird der Untersuchungsgegenstand der AG Anforderungen dargestellt:

Tabelle 16: Inputdaten der Technikanalyse

Referenz	Titel	Dokumentennummer	Version & Datum
BTSF	Lastenheft ETCS – Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 – – Übersicht Abläufe – – Activity Diagramme –	n. a.	2016-03-07 Anforderungen BTSF3 Version: 5.1 (Version 2.1)
BTSF-mgCR	Mitgel tende CR zum BTSF CR1005, 1023, 1034, 1035, 1039, 1042, 1049, 1050, 1054, 1055, 1056.	n. a.	verschiedene (entsprechend Doku-Übergabe)
BTSF-CRneu	Ausgewählte zusätzliche CR CR953, 1067, 1087.	n. a.	verschiedene (entsprechend Doku-Übergabe)
819.1344	Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2	n. a.	0.87 Entwurf vom 03.04.2017
Teil-LH ETCS	Europäisches Zugsicherungssystem (ETCS) TLH 1, 5, 6, 7	n. a.	verschiedene (entsprechend Doku-Übergabe)
TLH F8 HLB ETCS	Lastenheft ESTW Teilheft F8 Z01 Hochleistungsblock ETCS L2	I.NPS333_LH_ESTW_F8_Z01	1.0 16.6.2016
Örtliche Zusätze	Örtliche Zusätze S-Bahn Stuttgart	n. a.	Gültig ab 13.12.2015

2.1.2 Detailbeschreibung ESTW

2.1.2.1 zusätzliche Meldungen Schnittstelle SCI RBC

Die zusätzlichen Meldungen der Elementzustände entsprechend 2.1.3.8 müssen implementiert werden, um die erforderliche Verringerung der Systemlaufzeiten zu ermöglichen.

2.1.2.2 Koexistenz alleinstehender Ne 14 mit Lichtsignalen

Aus Gründen der Verfügbarkeit und LCC-Kosten ist im Szenario ETCS+ ein Ersatz einzelner Lichtsignale durch alleinstehende Ne 14-Tafeln vorgesehen. Es ist zu überprüfen, ob eine Koexistenz von Lichtsignalen und

Ne 14 auf einer Strecke (betrieblicher Aspekt) und in einem Stellwerksbereich (technischer Aspekt) zulässig und technisch machbar ist.

2.1.2.3 Zusammenfassung von Achszählauschnitten

Der Ausfall von einzelnen Radsensoren wird aufgrund der für die angestrebte geringere Mindestlänge der Zugfolgeabschnitte benötigten Gesamtanzahl von Radsensoren wahrscheinlicher (siehe Kapitel 2.1.3.1.4). Zur Kompensation der damit theoretisch verbundenen Verfügbarkeitsminderung wird empfohlen, eine Funktion zu implementieren, welche die virtuelle Überlagerung von Achszählauschnitten durch den Achszählrechner ermöglicht.

Anhand des neuen, überlagerten Achszählauschnitts kann der Achszählrechner eine automatische Grundstellung bei dem Radsensors herstellen, der eine Fehlermeldung ausgegeben hat. Der Achszählrechner kann durch die überlagerten Achszählauschnitte und die Auswertung der benachbarten Radsensoren sicherstellen, dass die betroffenen Abschnitte frei von Fahrzeugen sind und auf dieser Grundlage die Fehlermeldung zurücknehmen.

Diese Funktion wurde z. B. auch im norwegischen Projekt ERTMS National Implementation gefordert.

2.1.3 Detailbeschreibung ETCS (Streckenseite)

Nachstehend folgt eine Beschreibung der funktionalen Anforderungen an eine ETCS-Ausrüstung im Zusammenhang mit der S-Bahn Stuttgart. Diese sind als Basis für die weitere Anpassung der ETCS-relevanten Regelwerke heranzuziehen. Hierzu empfiehlt sich ein nochmaliger Abgleich zum finalen Stand der ETCS-Lastenhefte, die sich in derzeit im NTZ-Zulassungsprozess befinden.

2.1.3.1 Mindestlänge von Zugfolgeabschnitten

Die Länge der Zugfolgeabschnitte wirkt sich -neben weiteren Parametern- unmittelbar auf die Kapazität einer spezifischen Strecke aus. Für die S-Bahn Stuttgart besteht die Anforderung, einzelne Abschnitte nach Möglichkeit bis zur aus den Randbedingungen der Gleisfreimeldung resultierenden Minimallänge von 22 m zu reduzieren.

2.1.3.1.1 Begrenzung aus Sicht der Ril 819.110 5 (2)

Die Mindestlänge resultiert aus der Mindestlänge für Freimeldeabschnitte, welche mit 30 m (ggf. 22 m) angegeben ist. Für den Wert von 22 m ist zu berücksichtigen, dass sehr geringe Montagetoleranzen über den gesamten Lebenszyklus der Anlage eingehalten werden müssten.

2.1.3.1.2 Begrenzung aus Sicht der ETCS-Anforderungen

Die Mindestblocklänge ist im BTSF zurzeit mit 100 m angegeben. Dazu wurde bereits ein CR erstellt (Teile des CR953). Dieser sieht Mindestblocklängen deutlich größer als die theoretisch aus den Anforderungen der Gleisfreimeldung folgenden Minimallänge von 22 m vor.

2.1.3.1.3 Einfluss der Durchrutschwege

Bei Doppelausrüstung ETCS L2 mit Ks-Signalen und PZB sind hinter Ks-Signalen Durchrutschwege von mindestens 50 m vorzusehen, da ansonsten eine maximal zulässige Geschwindigkeit von 30 km/h zu berücksichtigen wäre (siehe Kapitel 2.5).

2.1.3.1.4 Mindestblocklänge und Gesamtverfügbarkeit

Im Rahmen der Entscheidungsfindung zu der anzuwendenden Mindestlänge ist zu berücksichtigen, dass sehr kurze Zugfolgeabschnitte auch eine Vervielfachung der Außenanlage zur Folge haben. Dabei ist im Bahnbetrieb nicht nur die theoretische Zuverlässigkeit der Komponenten zu betrachten, sondern auch der Ausfall aufgrund mechanischer Zerstörung. Dies betrifft Achszählpunkte inkl. Verkabelung und Balisen.

Bezüglich des Ausfalls von Einzelbalisen wird die mögliche Verfügbarkeitsminderung aufgrund der Vervielfachung der Außenanlage als nicht existent angesehen, da das Ausbleiben einzelner Positionsreports bei Realisierung von Anforderung BTSF3.000.xx58 aus CR953 im Regelfall keine betriebliche Auswirkung haben wird.

Flüchtige Fehler und der Ausfall von Achszählpunkten sind durch die in Kapitel 2.1.2.3 benannten Maßnahmen und Techniken ebenfalls beherrschbar.

2.1.3.2 Rückfallebenen

Für das technische Zielbild war festzustellen, welche Rückfallebenen bei einer ETCS-L2-Ausrüstung der S-Bahn-Stammstrecke zur Verfügung stehen und realisiert werden sollen.

Es wurden sowohl das alternative Zugsicherungssystem PZB- und ETCS-Funktionen / -Betriebsarten für die Beherrschung des Betriebs bei (räumlich ausgedehnten) technischen Störungen in die Betrachtung einbezogen.

Es wurden drei Rückfallebenen betrachtet, das alternative Zugsicherungssystem PZB, das Betriebsverfahren „Durchfahren gestörter Funkbereiche“ und die Nutzung des ETCS-Modes SR, insbesondere die technische Absicherung für Fahrten in SR.

2.1.3.2.1 Doppelausrüstung ETCS L2 PZB / Rückfallebene I

Die Doppelausrüstung mit PZB ist geeignet, Risiken durch die nicht zeitgerechte Verfügbarkeit der ETCS-Komponenten zu eliminieren. Aus heutiger Sicht besteht dieses Risiko im Wesentlichen aufgrund der notwendigen Umrüstung der S-Bahnzüge. Durch die allgemeine Knappheit der Fahrzeuge wird es voraussichtlich nicht möglich sein, mehr als ein Fahrzeug je Baureihe gleichzeitig umzurüsten.

Eine Doppelausrüstung mit PZB ermöglicht auch die Erprobung der betrieblichen Prozesse vor einer Inbetriebnahme und damit einen reibungslosen Übergang zur Nutzung des neuen Zugsicherungssystems.

Alle Szenarien, außer das Szenario ATO/TMS, sehen die Doppelausrüstung mit PZB vor.

2.1.3.2.2 Durchfahren gestörter Funkbereiche / Rückfallebene II

Diese Funktion wurde im BTSF spezifiziert, um den Weiterbetrieb bei Funkausfällen in größeren Bereichen zu unterstützen. Die Elemente dieser Funktion sind im Wesentlichen die Erteilung von Fahrerlaubnissen über den betroffenen Bereich hinweg sowie die Erhöhung der SR-Geschwindigkeit für Züge, welche sich bei Ausfall bereits im Funkloch befinden.

Diese Funktion soll nicht auf Strecken mit Lichtsignalen angewendet werden und die Erhöhung der SR-Geschwindigkeit ist derzeitig noch nicht für die VDE8 zugelassen. Daher wird das „Durchfahren gestörter Funkbereiche“ zunächst nicht realisiert.

Die Verfügbarkeit der Datenverbindung ETCS Strecke – ETCS Fahrzeug ist durch entsprechende Redundanzen zu gewährleisten (siehe dazu Kapitel 2.2.4).

2.1.3.2.3 Fahren in ETCS-Mode SR / Override EoA / Rückfallebene III

Die Absicherung des ETCS-Mode SR erfordert entsprechend des BTSF und der Planungsrichtlinie 819.1344 eine Vielzahl von Balisengruppen. Daher wurde im Rahmen der Studie untersucht, ob für Ausrüstungsstände mit Rückfallebene Ks ohne ETCS und PZB auf die Rückfallebene ETCS-Mode SR verzichtet werden kann.

Die beabsichtigte erhebliche Vereinfachung der Planung durch Verzicht auf eine von zwei Rückfallebenen kann nicht realisiert werden, da der Wechsel zu ETCS-Mode SR auf dem Fahrzeug nicht unterdrückt werden kann.

Die notwendigen Datenpakete für die Absicherung des ETCS-Mode SR sind -soweit möglich- in bereits aus anderen Gründen vorhandene Balisengruppen aufzunehmen. Des Weiteren sind Modifikationen der Planungsregeln für die Datenpunkte Typ 26 notwendig, siehe dazu Kapitel 2.1.3.3.2.

2.1.3.3 Aspekte zur Realisierung von SR

2.1.3.3.1 Schutz vor unerlaubter Vorbeifahrt am Folgesignal bei Vorbeifahrt am haltzeigenden Signal in LSTM PZB, Wert von D_NVOVTRP

Bei Vorbeifahrt an Grenzsignalen PZB → ETCS L2 ist das Zurücklegen der Entfernung D_NVOVTRP das einzige wirksame Kriterium für die Deaktivierung von „Override EoA“ auf dem Fahrzeug. Daher muss gewährleistet sein, dass D_NVOVTRP kleiner ist, als die jeweilige Entfernung von dem Ks-Signal, an welchem nach Bedienung der Befehlstaste vorbeigefahren wird, bis zu dem nächsten Ks-Signal, vor dem „Override EoA“ deaktiviert sein muss.

Gleiches gilt prinzipiell für jedes Ks-Signal im ETCS L2 Bereich, da jedes Ks-Signal prinzipiell auch ein temporäres Einstiegssignal nach einer ETCS Sperre sein könnte.

Der Wert von D_NVOVTRP beträgt im Netz der DB AG 400 m, der kleinste Abstand zwischen Ks-Signalen beträgt im Bereich der Stammstrecke 280 m, d.h. eine projektspezifische Anpassung des Wertes oder damit in Zusammenhang stehender Randbedingungen ist zwingend erforderlich um bei einer Befehlsfahrt eine Zwangsbremse als Schutz bei unerlaubter Vorbeifahrt am haltzeigenden Folgesignal zu ermöglichen.

Für eine mögliche Änderung wurden drei verschiedene Möglichkeiten identifiziert, die Varianten 1 und 2 sind für die Umsetzung des Szenarios ETCS Basis (d.h. ohne Änderung funktionaler Anforderungen), anwendbar. Variante 3 erfordert eine funktionale Änderung der Aufnahmeprozedur und ist die Vorzugslösung bei Realisierung des Szenarios ETCS+.

- Variante 1: Änderung des D_NVOVTRP Wertes pro Abschnitt
- Variante 2: Globale Änderung des Wertes D_NVOVTRP
- Variante 3: keine Aufnahme bei Signalbegriffen, welche Befehlstaste erfordern, Aufnahme am Folgesignal („gleitende Einfahrt“)

Hintergründe zur Vorzugsvariante 3 sind in Kapitel 2.1.3.4 dargestellt.

2.1.3.3.2 Absenkung der Geschwindigkeit in SR auf 20 km/h vor Ks-Signalen

Das BTSF und die Planungsrichtlinie 819.1344 sehen eine Absenkung der SR-Geschwindigkeit auf 20 km/h durch TSRs vor (Datenpunkt Typ 26).

Das Verfahren ist grundsätzlich auch bei der S-Bahn Stuttgart anwendbar. Die Distanzen, welche in der Planung anzuwenden sind, müssen jedoch entsprechend der kürzeren Abstände Ks-Signal zu Ks-Signal unter Berücksichtigung der (noch endgültig festzulegenden) Überwachungskurven festgelegt werden.

Im Weiteren ist zu prüfen ob, wie in CR953 zurzeit vorgesehen, ein Datenpunkt Typ 26 nach jedem Blockkennzeichen vorzusehen ist.

2.1.3.3.3 Durchfahren gestörter Funkbereiche (DGF)

Die Verfahrensweise bzgl. dieser Funktionalität wurde bereits im Kapitel 2.1.3.2.2 beschrieben.

2.1.3.4 Aspekte zur Aufnahme nach ETCS L2 (Transition PZB – ETCS L2)

Der Mindestabstand zwischen dem Einstiegssignal und dem Folgesignal ergibt sich entsprechend der Regelung aus der Ril. 819.1344 zu 450 m und kann nicht überall eingehalten werden. Weiterhin gilt, dass die Aufnahme aus PZB nach ETCS L2 innerhalb des ETCS L2 Bereichs (d.h. nach Verlassen des Bereichs mit wirksamer ETCS-Sperre) nur an den Signalen möglich ist, die diesen Mindestabstand einhalten.

Die Bedingungen für die Herleitung des Mindestabstandes sind folgender Grafik zu entnehmen.

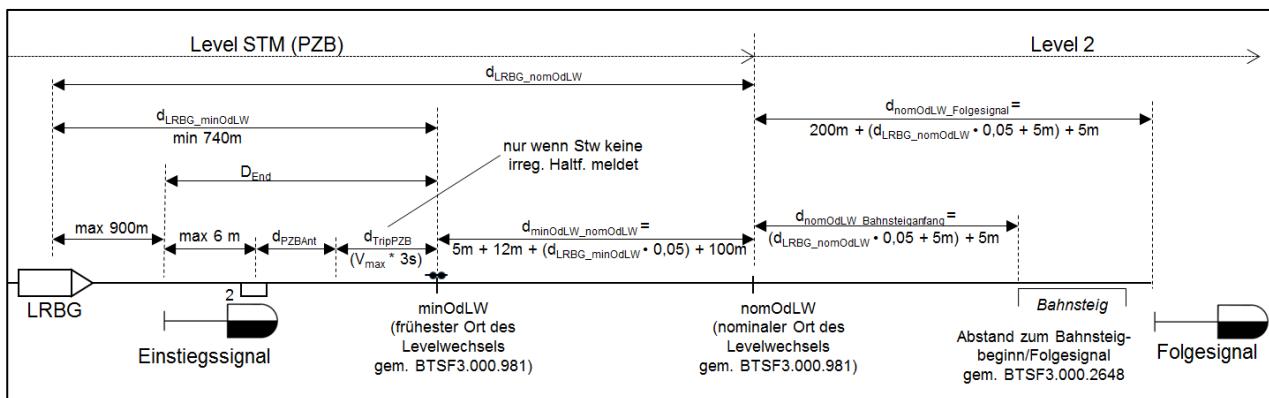


Abbildung 13: Bedingungen für die Herleitung des Mindestabstandes

Zusätzlich muss entschieden werden, ob der Override EoA am Ort des Levelwechsels (OdLW) noch aktiv ist oder nicht. In Tabelle 17 sind die Randbedingungen dazu dargestellt. Der gewünschte, dem Signalbegriff entsprechende ETCS-Mode, ist jeweils grün dargestellt. Die Transitionen und die Prioritäten bei gleichzeitiger Erfüllung entsprechend SUBSET-026, 4.6.2. sind neben dem Mode angegeben.

Tabelle 17: Randbedingungen bzgl. Override am Ort des Levelwechsels

#	Einfahrt mit...	Override am OdLW aktiv	Override am OdLW inaktiv
1	Halt (Befehlsfahrt)	ETCS-Mode SR [45 p5] ¹	ETCS-Mode Trip (Zwangsbremsung) [39 p5]
2	Ersatzsignal (Zs 1 bzw. Zs 8)	ETCS-Mode SR [45 p5]	ETCS-Mode FS [25 p7]
3	Vorsichtssignal (Zs 7)	ETCS-Mode SR [45 p5]	ETCS-Mode OS [34 p7]

Bei fixen Werten für D_NVOVTRP und vom Signalbegriff unabhängigen Ort des Levelwechsels kann der Zielmode nicht immer erreicht werden, dass BTSF sieht daher im Moment auch vor, dass bei Einfahrten auf Ersatzsignal ZS 1 / ZS 8 40 km/h einzuhalten sind, um eine Zwangsbremsung am Ort des Levelwechsels zu verhindern.

Diese unerwünschte Restriktion kann bei Strecken mit Doppelausrüstung vermieden werden, wenn die Aufnahme nach ETCS L2 bei Signalbegriffen, welche am Grenzsignal nach ETCS L2 die Befehlstastenbedienung erfordern, am jeweils nächsten geeigneten Signal erfolgt.

Dies würde die Planung der Einstiegsbereiche vereinfachen, da Randbedingungen bezüglich D_NVOVTRP nicht mehr zu beachten wären, die Deaktivierung von D_NVOVTRP kann dann immer durch die Vorbeifahrt am ehemaligen EoA/Lesen von „Stop if in SR“ erfolgen.

Da sich die Fahrzeuge bei kurzen Einfahrschnitten und Einfahrt auf Ks 2 ‚Halt erwarten‘ bereits in einer Zielbremsung auf das Folgesignal befinden, sollte der OdLW so früh wie möglich hinter dem Einfahrtsignal befinden.

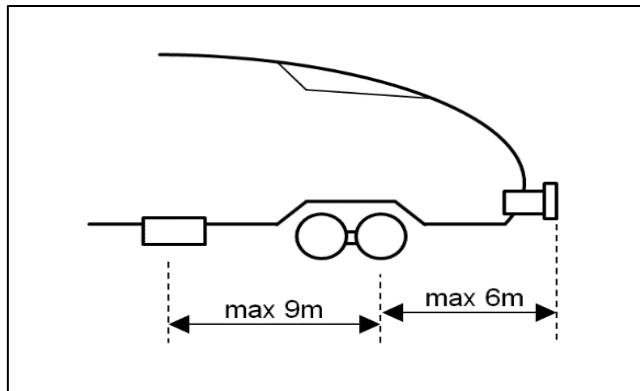


Abbildung 14: Wert von $d_{PZB\text{Ant}}$ (15 m)

¹ Die Angaben in den eckigen Klammern entsprechen der Transition und Priorität entsprechend SUBSET-026 Kapitel 4.6.2. und sind hier für die bessere Nachvollziehbarkeit angegeben.

Es wird davon ausgegangen, dass sich unmittelbar am Einstiegssignal ein Achszähler befindet ($d_{End}=0\text{m}$) und dass das Stellwerk den irregulären Haltfall meldet ($d_{TripPZB}$ ist nicht zu beachten). Der frühestmögliche Ort des Levelwechsels befindet sich demnach bei $6\text{m} + d_{PZB\text{Ant}}$.

Tabelle 18: Berechnung Ort des Levelwechsels

#	Wert	Formel	Rechenwert
1	Frühester Ort des LW	$6\text{ m} + 15\text{ m}$	21 m
2	Nominaler Ort des LW	$5\text{ m} + 12\text{ m} + [(900\text{ m} + 21\text{ m}) * 0,05] + 25\text{ m}$	88,05 m
3	Spätester Ort des LW	$(988,05 * 0,05 + 5\text{ m}) + 5\text{ m}$	147,45 m

Entsprechend der in Tabelle 18 genannten Annahmen und einem Sicherheitszuschlag von 25 m, um zu garantieren, dass der Levelwechsel vor dem Folgesignal abgeschlossen ist, sind minimale Einstiegsbereiche von 175 m realisierbar. Die oben genannten Minimalwerte sind nur realisierbar, wenn in einem Abstand von $d_{LRBG_minOdLW}$ eine LRBG (Datenpunkt Typ 3) so platzierbar ist, dass sich das rückliegende Signal nicht zwischen dem Datenpunkt und der LRBG befindet. Der Wert von $d_{LRBG_minOdLW}$ kann auf die maximale Zuglänge des längsten Vollzuges (ca. 210 m) verkürzt werden.

Bei der Festlegung von Signalen, welche im ETCS-L2-Bereich temporäre Einstiegssignale nach ETCS L2 sein können, sind ggf. Signale vor Bahnsteigen auszuschließen. Damit kann verhindert werden, dass der Tf während der Vorbereitung zur Abfahrt (z. B. Betätigung der Türen) zeitgleich Quittierungen im Rahmen des Levelwechsels vornehmen müssten.

2.1.3.5 Durchrutschwege

Aus ETCS-Sicht gibt es aufgrund der kontinuierlichen Bremskurvenüberwachung keine Mindestanforderungen an Durchrutschweglängen.

Grundsätzlich kann auch bei streckenseitigen Lichtsignalen und PZB auf Mindestdurchrutschwege verzichtet werden, dies muss im Einzelfall begründet werden und bedarf der Genehmigung durch den EBL.

Des Weiteren ist zu beachten, dass bei Fahrstraßen mit einem Durchrutschweg <50 m die Geschwindigkeit für signalgeführte Züge auf 30 km/h beschränkt ist. Dies ist mittels Geschwindigkeitsanzeiger bei Ks-Signalisierung zu signalisieren.

Die Entwurfsplanung der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart sieht Durchrutschwege von unter 50 m vor, unter anderem auch direkt hinter den Ks-Signalen.

Es wurden drei Varianten für die Realisierung von Durchrutschwegen unter 50 m hinter Ks-Signalen ermittelt, die jedoch eine Anpassung der Stellwerkslogik oder Restriktionen bei der Anfahrt an das haltzeigende Signal beinhalten.

Metergenaue Durchrutschwege: „Metergenau“ bezieht sich auf die Meldung der Durchrutschwege vom ESTW zur ETCS-Zentrale. Im Teillastenheft F8 HLB ETCS L2 sind Meldungen zu den Durchrutschwegen in den folgenden Intervallen vorgesehen:

- Kleiner 50 m
- Größer gleich 50 m und kleiner als 200 m
- Größer gleich 200 m

- unbekannt

Optional ist die metergenaue Angabe des D-Weges möglich. Die ETCS-Zentrale kann den D-Weg theoretisch nur dann metergenau bestimmen, wenn innerhalb des ihr übermittelten Intervalls nur ein D-Weg möglich ist. Sind mehrere D-Wege unterschiedlicher Länge im gleichen Intervall möglich, kann die metergenaue Meldung des D-Weges in jedem Fall genutzt werden, um unnötige Restriktionen in den Überwachungskurven zu vermeiden und ggf. höhere Release Speeds zu erlauben.

So lange hinter einem Signal/Blockkennzeichen stets immer nur ein Durchrutschweg/Gefahrpunktabstand projektiert ist, stellt sich die Frage zunächst nicht.

Nutzung von Fahrstraßen mit D-Weg 0 m: Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob zur Erreichung einer möglichst geringen Zugfolgezeit Fahrerlaubnisse ohne D-Weg günstiger sind. Zum Verständnis: Aus zwei vorausliegenden freien Abschnitten könnte man theoretisch a) eine Fahrstraße mit einem Abschnitt einschließlich einem Durchrutschweg, bestehend aus einem Abschnitt ODER b) eine Fahrstraße, bestehend aus zwei Abschnitten ohne anschließenden Durchrutschweg bilden.

Da Stellwerke entsprechend der Anforderungslage bei der Bildung von Durchrutschwegen nicht zwischen PZB-überwachten und ETCS geführten Fahrzeugen unterscheiden, ist die Fragestellung für alle Szenarien mit Ks-Signalen als Rückfallebene nicht relevant.

Bedingte Belegungsprüfung: Die bedingte Belegungsprüfung ist eine Funktion, welche die SBB im Gotthardt Projekt eingeführt hat. Zusammengefasst werden im Zusammenspiel zwischen ETCS-Zentrale und ESTW Durchrutschwege als (zukünftig) frei angenommen, wenn Züge, welche diese Durchrutschwege noch belegen, aufgrund ihrer im Position Report gemeldeten Standorte und Geschwindigkeiten den Durchrutschweg (auch bei maximaler Bremsverzögerung) sicher verlassen werden. Durch die resultierende frühere Auflösung des Durchrutschwegs können Mindestzugfolzeiten verkürzt werden.

Aufgrund der Einführung eines neuartigen Prinzips in der Fahrwegsicherung wird das Zulassungsrisiko als sehr hoch eingeschätzt und wird daher nicht zur Umsetzung empfohlen.

2.1.3.6 Release Speed

Aufgrund von Ortungsgenauigkeiten (unvermeidliche Wegmessfehler der fahrzeugseitigen Ortung) führen die Überwachungskurven ETCS geführte Fahrzeuge bereits vor dem Erreichen eines Signals ohne Fahrtbegriff zu einer Geschwindigkeit von 0 km/h. Ein Release Speed ermöglicht das Heranfahren an ein Signal ohne Fahrtbegriff. Der Release Speed ist grundsätzlich notwendig, wenn die Annäherung / das Vorziehen von Zügen zum Signal ohne Fahrtbegriff notwendig oder betrieblich erwünscht ist. Die konkreten Werte des Release Speed sind in BTSF 3.000.3309 für einen Bemessungszug (Güterzug in Bremsstellung ,P' mit 66 Bremshundertsteln) angegeben.

Es wurde eine Optimierungsmöglichkeit ermittelt, die nachfolgend beschrieben wird:

Auf der Stammstrecke der S-Bahn Stuttgart verkehren ausschließlich Züge mit deutlich besseren Bremsegenschaften. Aus Bremsversuchen für die tatsächlich auf der Stammstrecke verkehrenden Züge könnten höhere Release Speeds ermittelt werden. Bei Umsetzung dieser Möglichkeit resultiert daraus aber auch, dass keine Züge mit geringeren Brh unter ETCS-Führung auf der Stammstrecke verkehren dürfen oder spezielle betriebliche Regelungen anzuwenden sind. Mindestbremshundertstel sind heute schon Netzzugangskriterium für die S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart.

Des Weiteren muss eine Möglichkeit geschaffen werden - unabhängig von der Länge des Durchrutschweges - eine Release Speed von minimal 5 km/h überall zuzulassen, wo die betriebliche Notwendigkeit besteht (Heranfahrt an H-Tafeln kurz vor Signalen an denen MA enden können, Freifahren von rückwärtigen Weichenabschnitten oder Schaltabschnittsgrenzen).

2.1.3.7 Aufstarten von Zügen (betrieblicher Aspekt)

Das Aufstarten von Zügen erfordert entsprechend der Anforderungen des BTSF / der Planungsrichtlinie 819.1344 unter anderem die Einrichtung von Trusted Areas (Installation der DP für Trusted Areas, Typ 27) und ggf. die Installation von Datenpunkten für Start of Mission (DP für SoM, Typ 28). Im Regelbetrieb bei der S-Bahn Stuttgart ist das Aufstarten in den Streckenteilen des Betrachtungsraumes nicht notwendig.

Für das Szenario ETCS+ und den Betrachtungsraum des ersten Schritts dieser Studie gilt: In der betrieblichen Aufgabenstellung (BAST) sollte vermerkt werden, dass Anforderungen im Hinblick auf aufstartende Züge in den Streckenteilen des Betrachtungsraumes grundsätzlich nicht umzusetzen sind.

Grundsätzlich ist das Aufstarten im Regelbetrieb bei der S-Bahn Stuttgart in den Streckenteilen des Betrachtungsraumes nicht notwendig. Für die Wendeschleife Schwabstraße, und die dort gelegentlich aufstartenden Züge empfiehlt die InGe, dass mit PZB aufgestartet wird und die Aufnahme nach ETCS L2 auf der Stammstrecke erfolgt.

2.1.3.8 Beanspruchungsmeldung von Fahrwegelementen

Diese Funktion soll ermöglichen, dass Verzögerungen (sicherheitsrelevante Wartezeiten des RBC) bei der Generierung von ETCS-Fahrerlaubnissen (Movement Authorities), verursacht durch Laufzeitunterschiede und zu berücksichtigender Offenbarungszeiten von Verbindungsaußfällen, weitestgehend vermieden werden.

Asynchrone Zustandsmeldungen der Außenanlage würden ohne Berücksichtigung der Laufzeiten im RBC zeitweilig zu einem nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmenden Abbild der Außenanlage führen.

Ein potenziell gefährlicher Zustand ist die bereits erfolgte Signalfreistellung (im Abbild des RBC) bei aufgrund möglicher Laufzeitunterschiede noch nicht aktualisierter geänderter Lagemeldung von Weichen (im Abbild des RBC) für den betroffenen Fahrweg.

Hierzu wurden zwei CR der Firma Siemens an die DB AG übermittelt. Diese CR (Beanspruchung Signal SAG; noch ohne Nummer, Verschluss Weiche SAG, noch ohne Nummer) ergänzen die Schnittstellenspezifikation SCI RBC. Die zugehörige Funktionalität des RBC, insbesondere die zeitlichen Randbedingungen für die Auswertung der neuen Meldungen, wurden jedoch noch nicht definiert.

Im Rahmen der Studie wird davon ausgegangen, dass:

- für das Basis-Szenario die Stellrechnergrenzen so gelegt werden können, dass im Regelbetrieb keine Wartezeiten für Weichenlagemeldungen zu berücksichtigen sind und
- für das Szenario ETCS+ eine entsprechende zusätzliche Anforderung für das BTSF existiert und damit die Wartezeit für die Verwendung von Weichenlagemeldungen entfallen kann.

2.1.3.9 Leveltransitionen ETCS L2 → ETCS L1 LS

Die InGe empfiehlt Bad Cannstatt mit ETCS Level 2 auszurüsten. Sollten aber die ETCS Level L1LS Ausrüstungspläne umgesetzt werden, muss eine weiterführende Betrachtung der Leveltransition erfolgen. Leveltransitionen von ETCS L2 nach ETCS L1 Limited Supervision und umgekehrt sind zurzeit nicht im BTSF beschrieben.

Anforderungen für diese Transitionen müssen erstellt werden, um die Übergänge nach Bad Cannstatt realisieren zu können (siehe dazu auch Kapitel 2.5.3.1.3).

Systemkomponente ETCS/ATO-Fahrzeugeinrichtung muss noch ergänzt werden. Im Wesentlichen wird hier dann auf einen Anhang verwiesen. In diesem Anhang werden die Anforderungen zusammengefasst und diesen als Input für DB Regio.

2.2 Systemkomponente GSM-R

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA5 des Arbeitspaketes AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.2.1 Überblick

2.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Im Zusammenhang mit GSM-R sieht die InGe die folgenden relevanten Ziele und Aufgaben:

- Untersuchung der Netztopologie hinsichtlich der Kanalkapazität bei verbindungsorientierter Datenübertragung für ETCS
- Erarbeitung von technischen Lösungen (z. B. betriebliche Maßnahmen oder Änderung der Projektierung) für Bereiche, in denen die erforderliche Mindestkanalkapazität nicht erreicht wird. Als Alternative ist der Lösungsweg mit paketorientierter Verbindung (GPRS) zu prüfen.
- Untersuchung von Tunnelabschnitten und den zugehörigen Zufahrtabschnitten unter den gleichen Gesichtspunkten
- Anforderungen der Einführung von ATO-Light an das Mobilfunksystem für ETCS im Betrachtungsraum
- Bewertung der Notwendigkeit von GPRS und Auswirkungen von FRMCS auf die S-Bahn Stuttgart
- Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Stabilisierung des Fahrplanes

Die Luftschnittstelle von GSM-R wurde in Einklang mit den geforderten Netzgüteparametern, z. B. zulässige Interferenz- und Blockierwahrscheinlichkeiten als Mindestgröße angenommen. Basierend auf dem seitens des Auftraggebers zur Verfügung gestellten Status der Planungsvorbereitung, den Randbedingungen seitens der Systemtechnik sowie den geforderten betrieblichen Abläufen der S-Bahn wurden die ETCS-spezifischen Erfordernissen zur Datenübertragung abgeschätzt und geprüft.

Die für die betrieblichen (Zugfolgen, Fahrplan etc.) und steuerungsbedingten (ETCS-Kapazitäten) notwendigen Verkehrskanäle stehen im Zielkonflikt zu den zur Verfügung stehenden Frequenzkanälen, deren Wiederbenutzung sowie den geforderten Netzgüteparametern. Empfehlungen zur Anpassung des Netzdesigns wurden in Absprache mit dem Auftraggeber diskutiert und validiert.

Für identifizierte Bereiche, die einen Mehrbedarf an GSM-R-Kanälen erfordern, waren die hierzu ggf. notwendigen Abschätzungen mit den relevanten Teilprojekten abzustimmen und durchzuführen. Mögliche betriebliche Änderungen und Anpassungen waren zu identifizieren, um den Bedarf an GSM-R-Kanälen zu optimieren bzw. zu minimieren.

Maßnahmen zur Optimierung der GSM-R-Kanalkapazitäten für ETCS mittels GPRS waren in Abstimmung der Verfügbarkeiten und Randbedingungen seitens des Systemtechniklieferanten zu erörtern.

Mögliche Übertragungsarten für ATO-Light waren auf Basis der ATO-Schnittstellenspezifikation zu untersuchen und zu bewerten. Mögliche ATO-Datenübertragungssysteme wurden hinsichtlich Betriebsart und zeitlicher Verfügbarkeit betrachtet.

GSM-R wurde im Hinblick auf seine weitere Entwicklung Richtung FRMCS untersucht und bewertet.

2.2.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die bestehende GSM-R Infrastruktur ist im Allgemeinen nicht für ETCS geplant und besitzt nicht die für ETCS notwendige Kapazität und Versorgungsgüte

1. Die für ETCS notwendige GSM-R-Kanalkapazität im Betrachtungsraum lässt sich in einem Frequenzplan mit der erforderlichen Qualität und den verfügbaren GSM-R-Frequenzen realisieren. Im Normalbetrieb von 24 Zügen / Richtung / Stunde werden im Mittel weniger als 50% der auf Basis des Worst-Case-Szenarios empfohlenen Kanalkapazität genutzt. Zusätzliche Reserven und Flexibilität, über das dem Worst-Case-Szenario zugrundeliegende Betriebsszenario hinaus, sind gegeben. Ein für eine hohe Netzqualität gewünschter erhöhter Planungswert C/I von 15 dB ist realisierbar
2. Die bestehenden bzw. geplanten BTS-Standorte können im Wesentlichen genutzt werden, signifikante Änderungen am Antennensystem auf der Stammstrecke und dem Hasenbergtunnel sind allerdings vorzunehmen. Einzelne zusätzliche Standorte sind aus Gründen der Netzqualität erforderlich, Bestandsstandorte müssen teilweise rückgebaut bzw. deren Anzahl an Frequenzen auf das notwendige Maß reduziert werden. Zellwechselbereiche müssen in diesem Zusammenhang in für ETCS unkritische Bereiche „verschoben“ werden und dort unter allen Betriebsbedingungen gehalten werden. Zellwechsel sind auf das notwendige Maß zu begrenzen und Bereiche mit nicht eindeutiger Funkzellendominanz müssen vermieden werden.
3. Eine faktische Doppelversorgung in den Tunneln Stammstrecke und Hasenberg durch eine hinreichende Überlappung von Funkzellen kann nur durch geeignete Schlitzkabel durchgängig realisiert werden. Eine Redundanz durch einen zweiten BTS-Layer am jeweils selben Standort ist im Allgemeinen nicht zu empfehlen.
4. GPRS-Stand:
 - Zellwechselprozedur unter CSD arbeitet im bitfehlerfreien Fall schneller als GPRS aber die Fehler werden erst in die ETCS-Applikation erkannt und behandelt
 - Unterbrechung der Verbindung wird unter GPRS von der Applikation später erkannt als unter CSD
 - CSD ist im Zellwechsel aktuell deutlich schneller und in der Laufzeit zuverlässiger GPRS Kapazitätsvorteile sind absehbar nicht für reines ETCS erforderlich
5. Die Regeln einer ETCS-BTS bei Festnetzanbindung (z. B. 3 BTS in einem Loop) sind einzuhalten.
6. Für die ATO Datenübertragung wird auf Grund der sehr viel einfacheren späteren Migration auf FRMCS eine interimistische Anbindung über ein Privates 5G empfohlen. Als derzeitige Rückfalllösung wird eine W-LAN-Anbindung über bereits vorhandene interne Fahrzeugrouter mit Anbindung über ein privates LTE-Netz empfohlen. Sollte die Verfügbarkeit eines privaten 5G-Netzes rechtzeitig gesichert sein, wäre ein Wechsel hierzu zu prüfen. Hierzu ist die Entwicklung von 5G und FRMCS halbjährlich zu prüfen und zu bewerten.

7. Die 5G-Funktechnologie sollte bis 2020 spezifiziert sein und es ist zu erwarten, dass 5G dann in privaten Netzen ab 2023 zu Verfügung steht. FRMCS sollte in 2022 spezifiziert sein und ein möglicher, flächendeckend Rollout sollte dann in 2024 begonnen werden können.
8. Das derzeit laufende Projekt BSS-Reinvest sollte in Stuttgart kurzfristig umgesetzt werden, um einen Wechsel zu FRMCS in der Folge möglichst wenig zu behindern.

Der Funkplanung ist unter den beschriebenen Randbedingungen und Anforderungen der Stammstrecke und dem Hasenbergtunnel für Tunnelabschnitte ab ca. 500 m der Einsatz von Schlitzkabeln zu empfehlen. Im Fall der Versorgung kürzerer Tunnelabschnitte durch konventionelle Antennen, sollte eine Einstrahlung jeweils von beiden Seiten erfolgen. Bei längeren Zugfolgetakten (z. B. > 5 Min) können kürzere Tunnelabschnitte gegebenenfalls mit konventionellen Antennen einseitig geplant werden.

Folgende, über Ril 859.1202 hinausgehende Planungswerte für Gleichkanalstörungen werden empfohlen (Tunnel / Freifeld)

	C/ Ic @ 95 %	C/ Ic @ 50 %
Ril 859.1202	12	25 / 27
Empfehlung für ETCS	15	28 / 30

Für ETCS, ist es empfehlenswert neben der Funkversorgungswahrscheinlichkeit ein zusätzliches Qualitätskriterium als Planungsrichtlinie in Form einer RxQual – Wahrscheinlichkeit zu definieren:

- 95 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 2
- 99 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 4

Für das Projekt Stuttgart Stammstrecke wird empfohlen, dass in der Festnetzplanung in einem BTS-Ring nur drei BTS angebunden werden, damit in den Ringen noch eine Reserve für weitere BTS vorgehalten wird.

Im Projekt Stuttgart Stammstrecke empfehlen wir noch zusätzlich, die BTS alternierend in Ringen anzubinden.

Gutachterlich wird empfohlen, in der Festnetzplanung eine dedizierte reine ETCS BSC für die BTS der ETCS Strecken einzurichten.

Tabelle 19: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Systemkomponente GSM-R

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
GS-1	Antennenkonfiguration Es wird empfohlen für die Stammstrecke sowie den Hasenbergtunnel mit hohen Zugfolgen, Tunnellängen größer 500 m Schlitzkabel zu planen und zu verlegen.	Tunnelröhren sind zu versorgen	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
GS-2	Planungswerte für Gleichkanalstörungen Planungskriterium für Gleichkanalstörungen C/Ic mit 95% Wahrscheinlichkeit sollte zur Erhöhung der Störfestigkeit bei 15 dB liegen	Ril 859.1202 für die GSM-R-Planung für ETCS anpassen	DB Netz AG
GS-3	Erhöhung Qualitätsparameter Zusätzliches Qualitätskriterium in Form einer RxQual – Wahrscheinlichkeit von: 95 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 2 99 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 4	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-4	Begrenzte Ringauslastung In der Festnetzanbindung werden vorerst nur 3 BTS in einen Loop geschaltet	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-5	Alternierende Ringanbindung Nachbar-BTS sollen in jeweils andere Loops angebunden werden	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-6	Dedizierte ETCS-BSC Die BTS, welche für ETCS genutzt werden, sind an eine BSC anzubinden, an welche nur BTS angeschlossen werden, die für ETCS genutzt werden	Einarbeitung in die Funkplanungsrichtlinie	DB Netz AG
GS-7	Funknetzoptimierung Das Funknetzdesign ist dahingehend zu optimieren und durch Standorte zu ergänzen, dass Zellwechsel in für ETCS weniger kritische Bereiche fallen und die maximale Anzahl TRX je Funkzelle auf weitestgehend zwei beschränkt bleibt. Lokale Rückbaumaßnahmen von Standorten beziehungsweise TRX sind erforderlich.	Optimierung Funknetzdesign	DB Netz AG
GS-8	Derzeit ist in der Instandhaltung eine SLA-Vereinbarung gültig für das gesamte GSM-R-Netzwerk der DB. Bei fortschreitender Einführung von ETCS und damit auch von weitergehenden Diensten über die Sprachkommunikation hinaus, empfiehlt sich eine Anpassung des existenten SLA. Da insbesondere der Bahnbetrieb zunehmend stärker abhängig von installierten Technologien und Software ist, empfiehlt die	Neuaushandlung SLA	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
	InGe, dass die DB für die Wartung und Instandsetzung Prioritäten z. B. für Stammstrecken und Knoten definiert und dann Service-Ebenen vereinbart werden, die besser absichern bzw. schnellere Reaktionszeiten erhalten. Die hierbei entstehenden Mehrkosten sind mit den Mehrkosten einer redundanten Funknetzauslegung abzugleichen.		
GS-9	TMS-/FRMCS-Konzeption und Lastenhefte erarbeiten		DB Netz
GS-10	Funkausleuchtung Abstimmung mit den privaten Providern zur Verbesserung der Funk-Ausleuchtung in den Bereichen, in denen Züge beginnen oder enden (für ATO-Light)	Abhängig von Entscheidung zur Umsetzung der per Funkübertragung übermittelten Journey Profiles für ATO	DB Netz
GS-11	Funknetzplanung Planung zur Erneuerung des Bahn-Betriebsfunknetzes des Knotens Stuttgart (Projekt BSS-ReInvest) für ETCS und zukünftige Anforderungen anpassen		DB Netz
GS-12	Verifikation Ergebnisse der AG GSM-R sollten in Bezug auf das angepasste ETCS-Fernbahn-Konzept (Entfall von „ETCS signalgeführt“) verifiziert werden		DB Netz, PSU

Detaillierte Empfehlungen sind im Folgenden einzeln aufgeführt.

2.2.2 Methodik/ Anforderungen/ Planungsgrundsätze/ Richtlinien

Nachfolgende Ausführungen beschreiben die Planungsgrundsätze für die Ausrüstung der Stammstrecke mit nördlichem, östlichem und südlichem Zulauf der S-Bahn Stuttgart mit ETCS Level 2, die im Besonderen für die Untersuchung der GSM-R Kanalkapazität relevant sind. Für die Sicherstellung eines qualitativ hochwertigen und unter allen Betriebsbedingungen robusten Netzes der S-Bahn werden diese als notwendig erachtet. Aufgabe dieser Studie war es nicht, bestehende Richtlinien zu ersetzen oder vorzugeben, allerdings haben sich im Laufe der Studie Hinweise zur Erweiterung oder Anpassung bestehender Richtlinien durch höhere Anforderungen oder Randbedingungen zur Erreichung bestimmter Ziele ergeben. Exemplarische Abschätzungen und Dimensionierungen waren im Rahmen der detaillierten Funknetz-Entwurfsplanung zu konkretisieren bzw. zu validieren.

Für die Bewertung der betrieblich notwendigen Kanalkapazitäten auf der GSM-R-Luftschnittstelle unter den Anforderungen eines hoch verdichteten ETCS-S-Bahn-Netzes sind nachfolgende Fragestellung innerhalb einer iterativen Vorgehensweise zu klären:

- Welches ist die (im Störfall) maximal mögliche Anzahl an Zügen in der jeweiligen Funkzelle
- Welche Kanalkapazitäten sind hierdurch bedingt in der jeweiligen Funkzelle vorzusehen
- Welche Optimierungen sind am Funknetzdesign zur Abbildung der Kapazitäten in einem den Qualitätsanforderungen gerechten Frequenzplan notwendig

Die durchschnittlich zulässige Anzahl an Frequenzen je Funkzelle, die für einen Frequenzplan mit zulässigem Frequenz-Wiederbenutzungsabstand bei hoher Qualität noch verträglich ist, bestimmt hierbei das GSM-R-Funknetzdesign. Der Betrachtung liegt das GSM-R-Frequenzband mit 19 Funkfrequenzen zugrunde, das erweiterte GSM-R-Band (E-GSM-R) blieb zunächst außer Betracht und wäre in die Betrachtung hineinzuziehen gewesen, wenn die Kapazitätsanforderungen durch das Basisband nicht hätten erfüllt werden können.

Die seitens ETCS erforderlichen hohen Qualitäts- und Kapazitätsanforderungen an das GSM-R-Funknetz induzieren eine sorgfältige Zellplanung, die einer möglichst homogenen Verteilung der Verkehrslasten mit der im Durchschnitt zulässigen Anzahl von Frequenzen sowie einer exakten und weitgehenden Kontrolle der notwendigen Zellwechsel im ETCS-Bereich Rechnung trägt.

Die prinzipielle Methodik und Vorgehensweise sind in Abbildung 15 skizziert:

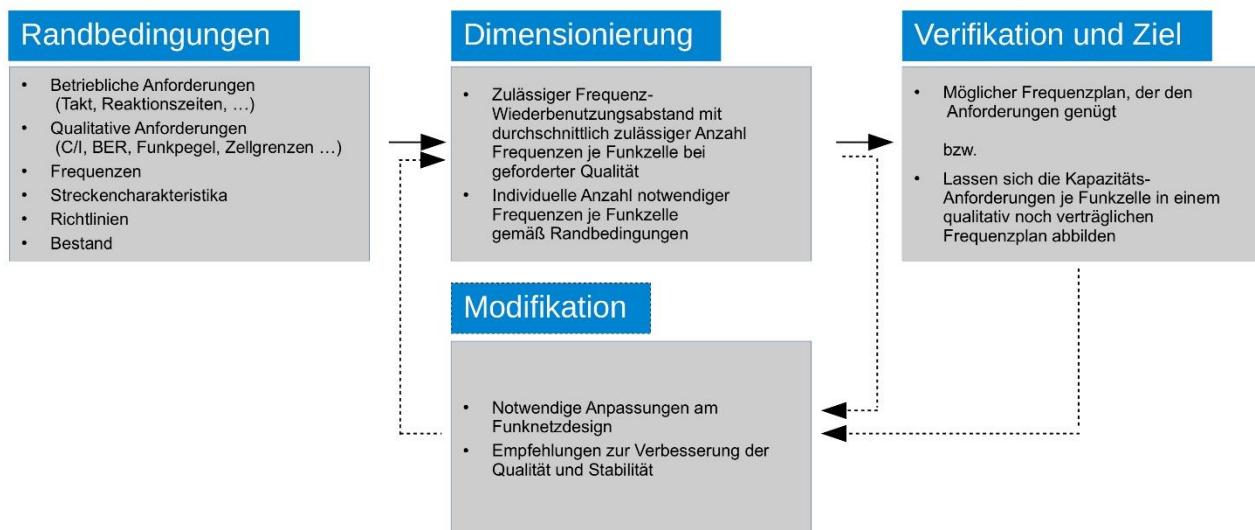


Abbildung 15: Methodik zur Untersuchung der GSM-R-Kanalkapazitäten

2.2.2.1 Funkversorgungspegel und Zellplanung

Anforderungen hinsichtlich der Funkversorgungspegel

Es gelten die Planungsparameter gemäß Ril 859.1202. Sie werden für eine derartige S-Bahn-Applikation als ausreichend erachtet. Für das Untersuchungsgebiet ist demnach eine GSM-R-Funkversorgungswahrscheinlichkeit von

- 95 % bezogen auf einen Funkversorgungspegel von -98 dBm [Bereich zwischen Netzeinwahlpunkt, DP 1 --Verbindungsaufbau zum RBC, DP 2]]
- 95 % bezogen auf einen Funkversorgungspegel von -95 dBm [ab Bereich DP 2]

zu planen.

Diese Anforderungen sind jederzeit und unter allen Szenarien, insbesondere auch unter dem dieser Untersuchung zugrundeliegenden „Worst-Case-Szenario“ in einem durch mehrere, nachfahrende Züge „zugefahrenen Tunnel“, zu realisieren.

In der weiteren Betrachtung wird zwischen Versorgungsbereich und Zellgröße einer Funkzelle unterscheiden.

Der Versorgungsbereich einer Funkzelle bezeichnet hierbei den Bereich, innerhalb dem das Mobilgerät in der Regel in der entsprechenden Funkzelle eingebucht ist. Er wird begrenzt durch den Zellwechsel zur benachbarten Funkzelle. Hingegen ist die Zellgröße einer Funkzelle durch den minimal zulässigen Funkversorgungspegel bestimmt. Sie ist im Besonderen bei geringen Abständen der Funkstationen deutlich größer als der entsprechende Versorgungsbereich.

2.2.2.2 Besonderheiten der Tunnelversorgung

Tunnelsysteme lassen sich prinzipiell durch Antennen, Schlitzkabel oder eine geeignete Kombination beider Technologien versorgen. Die Wahl der für einzelne Tunnel geeigneten Technologie hängt von unterschiedlichsten Kriterien wie Länge, Biegungen, Steigung, Geometrie, Beschaffenheit, Anzahl Gleise, Fahrdrift, Versorgungsgüte, Verkehrsbelastung, Sicherheitskriterien, Baurecht usw. ab.

Die Tunnelversorgung mittels konventionellen Antennensystem ist prinzipiell gekennzeichnet durch mögliche Abschattungseffekte durch sich im Tunnel befindliche Züge, die sich fahrtrichtungsabhängig sowie vom Belegungsgrad des Tunnels unterschiedlich stark auswirken können. Sie sind unter anderem zeitlich veränderlich und schwierig zu prognostizieren. Schlitzkabel bieten hierbei hinsichtlich einer stabilen, robusten Funkversorgung und Netzverhalten - unabhängig vom Belegungsgrad des Tunnels durch Züge - signifikante Vorteile gegenüber der Versorgung mit konventionellen Antennensystemen. Im Gegensatz zu einer longitudinalen Versorgung durch wenige diskrete Antennen ermöglichen Schlitzkabel durch „quasi-durchgängige“ Antennen eine jederzeit kontrollierbare Einstrahlung an jedem Ort. Es ist stets ein hoher Anteil von Strahlungsleistung auf einem direkten Ausbreitungspfad gegeben. Für ein kontrollier- und reproduzierbares Verhalten des Funknetzes, insbesondere hinsichtlich der für ETCS Daten kritische Zellwechsel, bieten Schlitzkabel die Möglichkeit, Zellwechsel unabhängig vom Belegungsgrad besser planbar zu gestalten.

Für mehrere aufeinanderfolge Tunnel unterschiedlichster Bauart mit dazwischenliegenden Stationen, wie auf der Stammstrecke und dem Hasenbergtunnel der S-Bahn Stuttgart gegeben, ist ein individuelles Versorgungskonzept zu erstellen. Um eine von der Fahrtrichtung unabhängige Netzgüte und Netzverhalten zu gewährleisten, ist hierbei möglichst eine symmetrische Anordnung der Netzelemente zu realisieren. Die Tunnelquerschnitte im Untersuchungsgebiet, und im Besonderen in den Bereichen der heutigen Bestandsstrecke, sind baulich durch ein vergleichsweise geringes Lichtraumprofil bei installierter Fahrleitung gekennzeichnet. Schlitzkabel sind aus Gründen der richtungsunabhängigen Netzqualität (Symmetrie), Vereinheitlichung (doppel- und eingleisige Tunnelröhren), Redundanz sowie im Hinblick auf zukünftige Technologien wie MIMO unter FRMCS jeweils für beide Fahrtrichtungen vorzusehen.

Unter den beschriebenen Randbedingungen und Anforderungen der Stammstrecke und des Hasenbergtunnels sind für Tunnellängen ab ca. 500 m Schlitzkabel zu empfehlen. Andere Tunnelabschnitte im Untersuchungsgebiet sind auf Basis der betrieblichen und baulichen Gegebenheiten individuell zu bewerten.

Gegebenenfalls kann eine Versorgung insbesondere kürzerer Tunnelabschnitte durch konventionelle Antennen erfolgen. Taktfolge und Blocklängen bestimmen im Störfall die Belegung der Tunnelabschnitte. Längere Taktfolgen, z. B. > 5 Minuten, und größere Blockabstände, z. B. 600 m, bewirken im Störfall geringere Belegung und damit günstigere Funkausbreitungsverhältnisse.

2.2.2.3 Anforderungen hinsichtlich der Frequenzplanung, Maximale Frequenzen je Funkzelle

Die Realisierung eines Frequenzplans mit der notwendigen Anzahl von Funkkanälen bei ökonomischer Frequenzwiederbenutzung bedingt eine möglichst homogene Anzahl notwendiger Funkkanäle über alle Funkzellen des Untersuchungsgebietes. Die Versorgungsbereiche der einzelnen Funkzellen und die damit verbundene Verkehrsbelastung aller Funkzellen sowohl im Normalbetrieb als auch im „Worst-Case-Szenario“ ist dementsprechend - unter allen Szenarien - weitestgehend gleich groß zu planen. Aus Gründen der Verkehrs kapazität, der Frequenzplanung oder den spezifischen, qualitativen Anforderungen von ETCS können gegebenenfalls zusätzliche Funkzellen erforderlich sein.

Folgende Werte werden gemäß Ril 859.1202 als Mindestanforderung im GSM-R-Netz vorausgesetzt:

- Gleichkanalstörungen: $C/I_c > 12 \text{ dB}$ (GSM-Standard 05.05: 9 dB)
- Nachbarkanalstörungen: $C/I_A > -3 \text{ dB}$ (GSM-Standard 05.05: -9 dB)

Diese Werte stellen jedoch im Allgemeinen nur einen 50 % Medianwert der C/I- Lognormalverteilung dar. Soll der Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % gewährleistet werden (entsprechend einer Interferenzwahrscheinlichkeit von 5 %) ist eine entsprechende Margin hinzuzurechnen, die sich bei unkorrelierten Signalen von C und I aus der Standardabweichung σ der Feldstärkeverteilung errechnet*. Messungen in unterschiedlichen Tunnelumgebungen zeigen im Vergleich zum Freifeld etwas geringere Standardabweichungen $\sigma = 5 \dots 6 \text{ dB}$. Für $\sigma = 5,5 \text{ dB}$ (Tunnel) bzw. $\sigma = 6,5 \text{ dB}$ (Freifeld) erhält man eine notwendige Margin von etwa 13 bzw. 15 dB. Es gilt dann folgender ungefährer Zusammenhang für den Planungswert: $C/I_c @ 50 \% \sim C/I_c @ 95 \% + 13 \text{ (15) dB}$.

** Hinweis: Die Standardabweichung σ_i einer C/I-Verteilung berechnet sich aus der Standardabweichung σ der Feldstärkeverteilung. Unter der Annahme unkorrelierter Nutz- (C) und Störsignale (I) ist die resultierende Standardabweichung das Quadrat der Leistungssummen der einzelnen Standardabweichungen. Für gleiche σ je Signal gilt demnach $\sigma_i = \sqrt{2} \sigma$.*

Der zu untersuchende Bereich ist überwiegend durch linienhafte, teilweise in Bögen verlaufende Anordnung der Funkzellen gekennzeichnet. Bedingt durch diese Anordnung ist die Anzahl potenzieller Störzellen reduziert. Es berechnet sich ein Worst Case-C/I vereinfacht zu.

$$C/I [\text{dB}] = 10 \log (1 / (2(q-1) - \gamma))$$

mit γ Ausbreitungskoeffizient, $q = D/R$, D Wiederbenutzungsabstand, R Zellradius (siehe Abbildung 16).

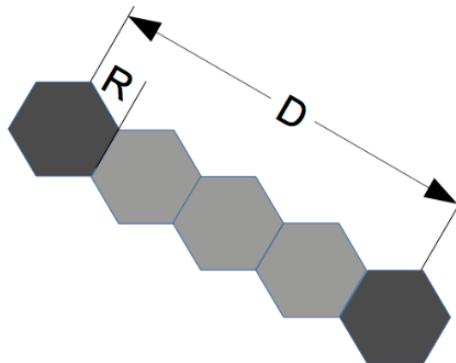


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Frequenzwiederbenutzung bei linienhafter Funkausbreitung

Der Ausbreitungskoeffizient variiert hierbei in Folge der Ausbreitungs- und Umgebungsbedingungen. Für GSM wird im Allgemeinen $\gamma = 4$, für GSM-R bei dominierender linienhafter Funkausbreitung $\gamma = 3,5$ angenommen. Für GSM-R-Tunnelumgebungen bei Versorgung mit konventionellen Antennen differieren die Werte signifikant ($\gamma = 3 \dots 8$) in Abhängigkeit vom Belegungsgrad des Tunnels sowie der Tunnelcharakteristik. Je betragsmäßig größer der Ausbreitungskoeffizient γ desto höher die Dämpfung des Signals im Funkfeld und desto kürzer der Wiederbenutzungsabstand D bei gegebenem C/I.

Bei entsprechenden, über Ril 859.1202 hinausgehenden empfohlenen Planungswerten für Gleichkanalstörungen (siehe Tabelle 20) von

Tabelle 20: Planungswerte für Gleichkanalstörfestigkeit (Tunnel / Freifeld)

	C/Ic @ 95 %	C/Ic @ 50 %
Ril 859.1202	12	25 / 27
Empfehlung für ETCS	15	28 / 30

und einem Ausbreitungskoeffizient $\gamma = 3,5$ (Annahme unbelegter Tunnel bzw. Freifeld jeweils mit konventionellen Antennen) ergeben sich die Frequenzwiederbenutzung k gemäß Tabelle 21:

Tabelle 21: Gleichkanalstörfestigkeit als Funktion der Frequenzwiederbenutzung

Wiederbenutzung k	q = D/R = 2k	C/Ic @ 50 %
2	4	13,7
3	6	21,5
4	8	26,6
5	10	30,4
6	12	33,4
7	14	36,0
8	16	38,2

Die Annahme einer idealisierten, linienhaften Anordnung der Funkzellen ist im Freifeld insbesondere bei Streckenverzweigungen nicht durchgängig anwendbar. Der zunehmende Einfluss potenzieller Störer lässt sich durch eine zusätzliche Margin von 6...10 dB je nach örtlicher Gegebenheit modellieren. Im Rahmen der Studie wird ein Wert von 8 dB angenommen.

Schlitzkabelsysteme zur Tunnelversorgung besitzen prinzipiell ein höheres, jedoch besser kontrollierbares Dämpfungsverhalten und werden meist mittels eines Koppelnetzwerks realisiert. Das Signal C erfährt Störungen nur durch die unmittelbaren Nachbarn. Der Störabstand am Zellenrand gemäß Abbildung 17 zeigt jederzeit ein hinreichend großes C/I gegenüber der Funkzelle n+2 (Einfachversorgung) bzw. n+3 (überlappende

Doppelversorgung bei Ausfall der Funkzelle $n+1$). Eine zusätzliche Entkopplung der Signale ist überdies meist durch das Koppelnetzwerk gegeben.

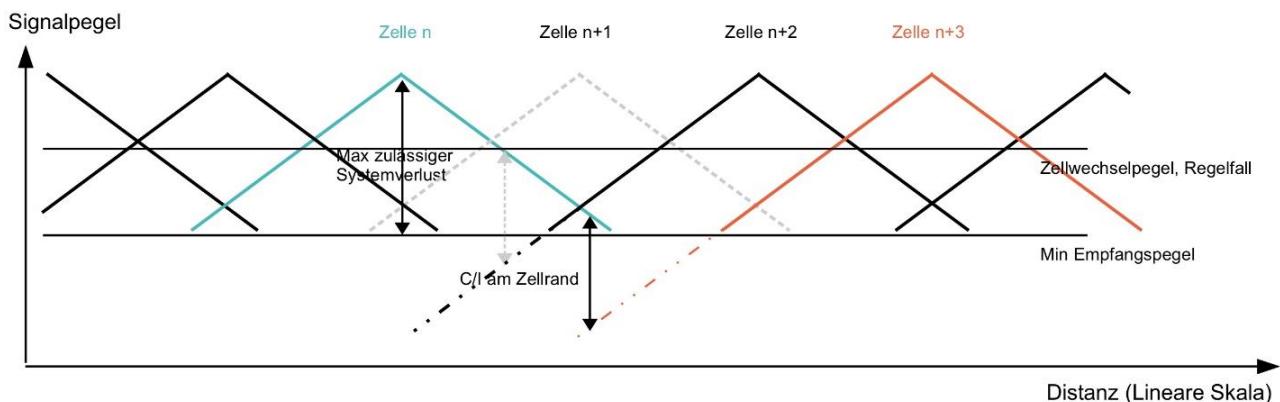
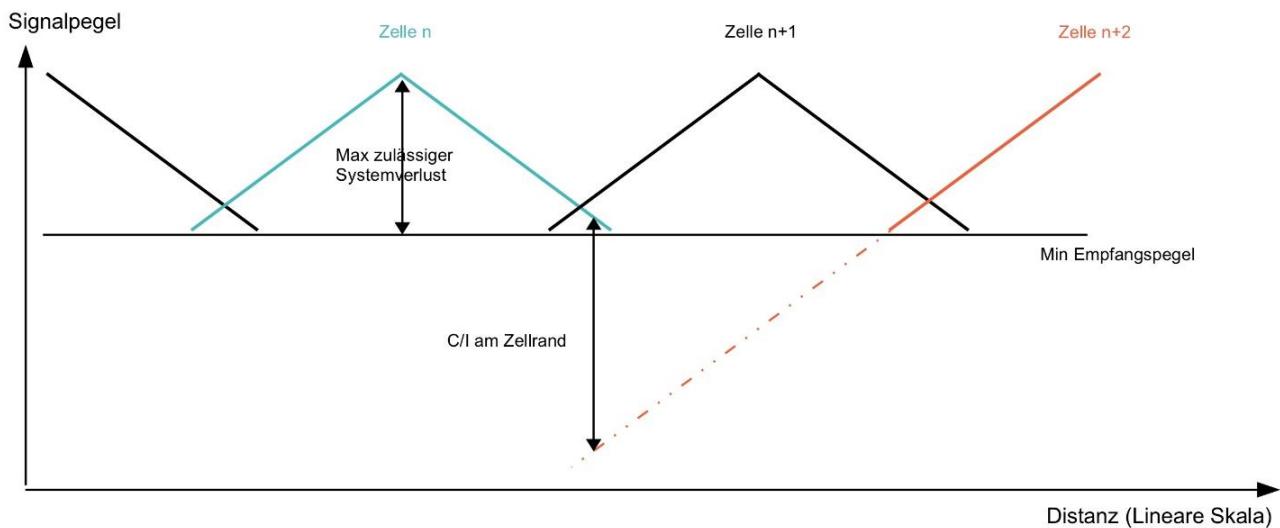


Abbildung 17: Idealisierte Darstellung der Signalpegel bei Schlitzkabelsystemen, Einfachversorgung (oben) bzw. Doppelversorgung (unten)

Eine Frequenzwiederbenutzung im Abstand D nach k Funkzellen würde einem $C/I_c > 15$ dB bei einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % genügen, bei

Tabelle 22: Vorgabe Frequenzwiederbenutzung k entsprechend des Einsatzes

Frequenzwiederbenutzung nach k Funkzellen, für $k =$	Szenario und Parameter
2	Tunnel mit Schlitzkabel, Einfachversorgung
3	Tunnel mit Schlitzkabel, überlappende Doppelversorgung

Frequenzwiederbenutzung nach k Funkzellen, für k =	Szenario und Parameter
3 ... 5	Tunnel mit Antennen, Abhängig von baulicher Charakteristik und Belegungsgrad, Einfachversorgung,
5	Freifeld mit dominanter, linienhafter Streckenführung
8	Freifeld mit linienhafter Streckenführung und -Verzweigung

Für die weiteren Bewertungen im Rahmen dieser Studie wird $k = 8$ angenommen. Dies gewährleistet in den Tunnelbereichen zusätzliche Reserven.

Ein Planungswert für $C/I_{c,50} \geq 15$ wäre, wie Abbildung 18 zeigt, bei einer möglichen Nutzung von GPRS im Coding Scheme 2 anzustreben.

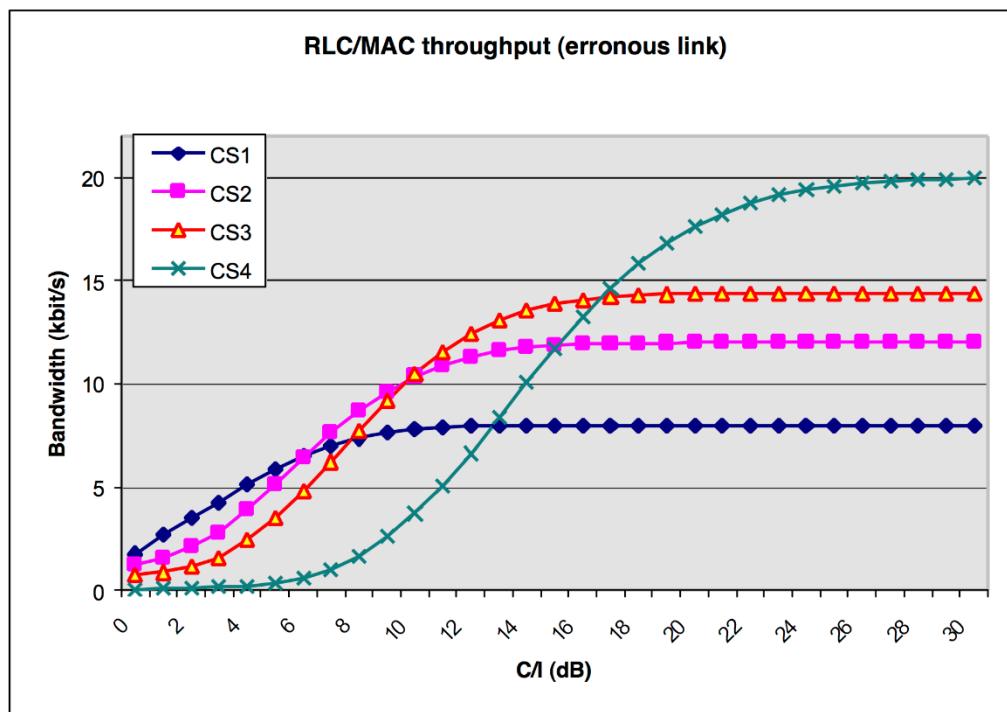


Abbildung 18: Erzielbare Bandbreite verschiedener GPRS-Coding Schemas

Ein Frequenzplan mit einer Frequenzwiederbenutzung nach drei bzw. acht Zellen ermöglicht für das Untersuchungsgebiet, auch für eine mögliche Einführung von GPRS, eine sehr gute Quality of Service. Bei dem zur Verfügung stehenden Frequenzband ist eine Regelanzahl von zwei Frequenzen je Funkzelle zu realisieren.

Ein Planungswert $C/I_{c,50} \geq 15$ dB ist hierbei anzustreben.

Quality of Service

Als ein Maß für die Qualität des GSM-R-Funknetzes kann unter anderem RxQual als Teil der im Network Measurement Report (GSM Technical Specification 05.08.) an das Netzwerk gesendeten Messwerte herangezogen werden. Wie in Tabelle 23 dargestellt korrespondieren die RxQual-Werte von 0 bis 7 mit geschätzten Bitfehlerraten über eine bestimmte Anzahl von Bursts (Bitfolgen).

Tabelle 23: Bitfehlerraten und korrespondierende RxQual-Werte

RxQual	Bitfehlerrate (BER)
0	BER < 0,2 %
1	0.2% < BER < 0.4 %
2	0.4% < BER < 0.8 %
3	0.8% < BER < 1.6 %
4	1.6% < BER < 3.2 %
5	3.2% < BER < 6.4 %
6	6.4% < BER < 12.8 %
7	12.8% < BER

RxQual ist ein Indikator sowohl für „interne“ GSM-R-Störungen (z. B. durch schlechtes C/I) als auch durch „externe“ Störer (z. B. hervorgerufen durch öffentliche Mobilfunknetze) verursachte Qualitätseinbußen.

Für ETCS ist es gutachterlich empfehlenswert neben der Funkversorgungswahrscheinlichkeit ein zusätzliches, internes Abnahme- bzw. Qualitätskriterium in Form einer RxQual-Wahrscheinlichkeit zu definieren:

- 95 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 2
- 99 % bezogen auf einen RxQual-Wert < 4

Diese Qualitätskriterien sind nicht standardisiert, erscheinen jedoch im Hinblick auf die notwendig hohe Güte des GSM-R-Netzes für die S-Bahn als angemessen und realisierbar. Sie sollen einer sorgfältigen Funknetzplanung Rechnung tragen; eine Umsetzung in entsprechende Richtlinien ist empfehlenswert.

2.2.2.4 Anforderungen hinsichtlich QoS

Es ist auf die Ril 859.1202 zu verweisen, die die notwendigen Mindestanforderungen der TSI für ETCS umsetzt. Diese dokumentiert lediglich die auch für die S-Bahn Stuttgart anzuwendenden Anforderungen

- Keine Zellwechsel an Einwahlpunkten des ETCS Bereichs (Datenpunkt – Funksystemaufbau bis Datenpunkt 3 – Einstiegsgrenzdatenpunkt)
- Keine Zellwechsel an RBC Grenzen

Darüberhinausgehend sind aus Qualitäts- und Stabilitätsgründen weitergehende Anforderungen zu spezifizieren, die im Wesentlichen auf eine für ETCS möglichst minimale Bitfehlerrate unter den Betriebsbedingungen der S-Bahn Stuttgart zielen. Da Zellwechsel systemseitig als Übertragungsfehler angesehen werden, sind jederzeit stabile, robuste und reproduzierbare Funkversorgungsverhältnisse anzustreben. Es sind daher nachfolgende Richtlinien weitestgehend zu realisieren:

- Minimal notwendige Anzahl Zellwechsel
- Vermeidung nicht dominanter Versorgungsbereiche durch mehrere Funkzellen mit hierdurch resultierenden Ping-Pong Zellwechseln
- Keine Zellwechsel in Stationen, insbesondere in den dortigen Haltebereichen
- Vermeidung unkontrollierter Überreichweiten einzelner Funkzellen und damit verbundenen zusätzlichen Zellwechseln oder Verbindungsabbrüchen
- Keine Inter-BSC Wechsel mit damit verbundenen längeren Laufzeiten

Zellwechsel sollten in für die Zugfolge und Leistungsfähigkeit unkritische Bereiche verlagert werden.

Ergänzende QoS-relevante Planungsgrundsätze sind im Rahmen der Frequenzplanungsaspekte berücksichtigt und ausgeführt.

2.2.2.5 Anforderungen hinsichtlich Störfestigkeit gegenüber Funknetzen öffentlicher Netzbetreiber

Zahlreiche Studien, Berichte und Beobachtungen dokumentieren die Koexistenz von GSM-R und Funksystemen öffentlicher Netzbetreiber. Insbesondere GSM-P und UMTS/LTE 900 können die GSM-R-Netzqualität durch Blockierung und / oder Interferenzen im GSM-R-Endgerät signifikant verschlechtern. Besonders betroffen sind mehrheitlich diejenigen Bereiche, in denen das GSM-R-Nutzsignal schwach gegenüber den entsprechenden Störsignalen ist, beispielsweise an den Zellgrenzen und Zellwechselbereichen von GSM-R.

Die Störfestigkeit von GSM-R lässt sich neben der Reduzierung der „out-of-band“ Emissionen in den Basisstationen öffentlicher Mobilfunkbetreiber (nicht beeinflussbar), der Verwendung von störfesten GSM-R-Endgeräten oder entsprechender Filter neuester Generation u. a. auch durch ein möglichst hohes GSM-R-Nutzsignal erhöhen.

Für eine möglichst hohe Störfestigkeit von GSM-R sind daher im Rahmen der technischen Möglichkeiten möglichst vergleichbare Versorgungsbereiche („Footprints“) von GSM-R und öffentlichen Netzen anzustreben. Die Einspeisung von GSM-R und öffentlicher Dienste zur Versorgung der S-Bahn-Tunnelbereiche erfolgt in der Regel jeweils an den S-Bahn-Stationen mit vergleichbaren Sendeleistungen. Eine ausreichend hohe Störfestigkeit von GSM-R ist durch dieses Prinzip in hohem Maße gegeben. Abweichungen von diesem Prinzip sind im Rahmen der Ausführungsplanung zu untersuchen und zu bewerten.

2.2.2.6 GSM-R-seitige Übertragungsgeschwindigkeit

GSM-R sieht eine Datenübertragung transparent von 4800 kbit/s bzw. 9600 kbit/s vor. Das höhere Datenaufkommen besteht ETCS-seitig im Downlink für die Fahrwegfreigabe (Movement Authority, MA).

Die Länge einer MA beträgt 1265 Bit oder 158,125 Byte, aufgerundet rund 160 Byte. Mit einer zusätzlichen Sicherheit sind 200 Byte anzusetzen.

Für den garantierten Fall von 4800 kbit/s würde das Versenden einer MA demnach 1/3 Sekunden betragen, bei 9600 kbit/s dann 1/6 Sekunden. Die GSM-R-seitige Übertragungsgeschwindigkeit erlaubt hiermit bei ausreichenden Reserven die Übertragung der für ETCS notwendigen Datenpakete.

2.2.2.7 Kapazitive Bedarfe der S-Bahn

Nachfolgende Bedarfsberechnungen beruhen auf den Versorgungsbereichen der zukünftigen wahrscheinlichen Funkzellen, wie sie für den betrachteten Untersuchungsbereich realistisch und durch geeignete Optimierungsmaßnahmen anzustreben sind. Streckenbereiche im Untersuchungsgebiet mit Mischverkehr S-Bahn und Fern- bzw. Regionalverkehr sind hinsichtlich der Verkehrsanforderungen berücksichtigt, Bereiche ohne S-Bahnverkehr, z. B. S21 Stuttgart-Hbf, sind nicht Bestandteil der Untersuchung. Hinsichtlich der Realisierbarkeit eines Frequenzplans finden sich jedoch im Rahmen der Bewertung entsprechende Hinweise.

Kleinere, hinsichtlich der Verkehrslast möglichst homogene Zellstrukturen wirken sich hierbei in Hinblick auf einen zu realisierenden Frequenzplan vorteilhaft aus und bieten eine höhere Flexibilität und Robustheit für zukünftige Verdichtungen. Hierdurch bedingte erhöhte Anzahl von Zellwechselbereichen sind dagegen abzuwagen. Die speziellen ETCS-bedingten QoS-Anforderungen können zusätzliche Änderungen am Funknetzdesign erforderlich machen und sind in der Untersuchung der Verkehrskapazitäten entsprechend berücksichtigt.

2.2.2.7.1 Normalbetrieb und Worst Case-Störfallszenario

Die auf einem Normalbetrieb basierenden Verkehrsanforderungen können nur bedingt zur Abschätzung der notwendigen Kanalkapazitäten herangezogen werden. Vielmehr sollte das System auch Störfälle mit auflaufenden Zügen sicher bedienen können. Verschiedene Störfallszenarien unterschiedlichster Dimension sind denkbar.

Abbildung 19 zeigt das der Dimensionierung zu Grunde liegende Worst-Case-Störfallszenario im Vergleich zum Normalbetrieb sowie deren wesentliche, für die Berechnungen relevanten Kenngrößen. Alle Züge beider Richtungen können sich im Störfall im typischen Versorgungsbereich L_F nur einer Funkzelle befinden ($L_S \leq L_F$).

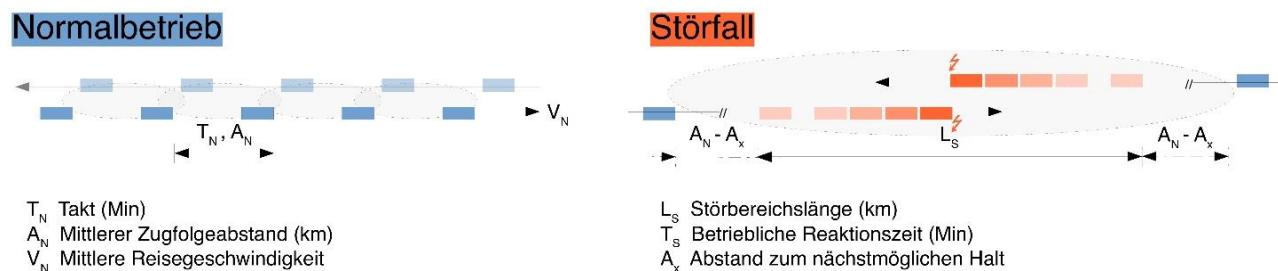


Abbildung 19: Definition von Normalbetrieb und Worst-Case-Störfallszenario für Kapazitätsuntersuchungen

Takt

Fahrplanmäßige Taktfolge im entsprechenden Streckenbereich zur Hauptverkehrszeit

Mittlere Reisegeschwindigkeit

Reisegeschwindigkeit im entsprechenden Streckenbereich unter Berücksichtigung der planmäßigen Haltezeiten. Für die Untersuchung im Rahmen der Studie wird – sofern vorhanden – der zukünftige, geplante Fahrplan gemäß Bildfahrplänen zu Grunde gelegt. Alternativ: Abschätzung basierend auf gegenwärtigem Fahrplan und Halteabständen.

Mittlerer Zugfolgeabstand

Theoretische Rechengröße aus Taktfolge und mittlerer Reisegeschwindigkeit im Normalbetrieb

$$A_N = V_N \times T_N$$

Betriebliche Reaktionszeit

Innerhalb der betrieblichen Reaktionszeit laufen Züge im Störbereich auf. Durch betriebliche Anweisung soll danach ein weiterer Zulauf in den Störbereich verhindert werden. In Absprache mit dem Betrieb wird diese definiert als

$$T_S = T_N + 5 \text{ Min}$$

Anzahl Züge im Störbereich und Richtung

Die je Richtung innerhalb der betrieblichen Reaktionszeit auflaufende Anzahl an Zügen als „Grundstörlast“ je Richtungsgleis errechnet sich zu

$$Z_S = 1 + T_S / T_N$$

Für die Berechnungen wird auf die nächste Ganzzahl aufgerundet.

Unter Umständen kann einer im Zugfolgeabstand A_N folgender Zug je Richtung in den Störbereich bzw. die betroffene Funkzelle einfahren sofern es die nächstmögliche Halteposition erfordert und ihn die betriebliche Anweisung zum Halten beispielsweise gerade nach dem Verlassen eines Bahnhofs erreicht. Der Abstand A_x zum nächstmöglichen Betriebshalt verkürzt den mittleren Zugfolgeabstand (in diesem schlechtesten Fall) dann entsprechend um $A_x = L_F$, wenn der Abstand der Funkzellen vereinfacht als der Abstand der Bahnhöfe angenommen wird. Dieser Fall wird in den Berechnungen berücksichtigt sofern die örtlichen Gegebenheiten hierfür theoretisch gegeben sind.

Störbereichslänge

Länge und Anzahl der Züge, Blockabstand und ein jeweiliger Sicherheitsabstand zwischen aufeinanderfolgenden Blöcken bestimmen die Länge des Störbereiches. Im Rahmen der Kapazitätsberechnungen wird eine Zuglänge von 150 m (entsprechend einem Vollzug) und ein Sicherheitsabstand von 10 m angenommen. Die Länge des Störbereichs ergibt sich dann überschlägig, für die Kapazitätsberechnungen hinreichend, zu:

$$L_s = 2 \times Z_s \times (\text{Blockabstand} + 160 \text{ m}) \quad \text{für Blockabstand} < 160 \text{ m}$$

$$L_s = 2 \times Z_s \times \text{Blockabstand} \quad \text{für Blockabstand} \geq 160 \text{ m}$$

Basierend auf der „Grundstörlast“ an Zügen berücksichtigt die Störbereichslänge als Rechengröße nicht den skizzierten Fall eines möglichen zusätzlichen Zugnachlaufs wie beschrieben.

Es wird nur ein Störfallszenario je Funkzelle angenommen. Zeitgleiche, um eine Störbereichslänge versetzt auftretende Störfälle, die überdies in genau dieselbe Funkzelle fallen, werden nicht betrachtet.

Für die Bewertung der Kanalkapazitäten ist die Anzahl der Züge in den einzelnen Funkzellen zu ermitteln. Die jeweils geltenden Streckenkenngroßen sind zu berücksichtigen.

Tabelle 24: Streckenbereiche mit wesentlichen Kenngrößen zur Berechnung der Züge pro Funkzelle

Streckenbereich	# Gleise	Verkehre	Takt (Min)	Block (m) ¹⁾	T _s (Min)	Z _s	L _s (km)
Nordbahnhof – Zuffenhausen	2 / 4 ²⁾	S / S,F,R ²⁾	5	600	10	3	3,6
Bad Cannstatt	4	S,F,R	5	600	10	3	3,6
Mitnachtstraße – Schwabstraße	2	S	2,5	30	7,5	4	1,5
Schwabstraße – Rohr	2 / 4 ³⁾	S,R ³⁾	2,5 ⁴⁾	600	7,5	4	4,8
Rohr – Flughafen / Messe	2	S,F,R	15	600	20	3	3,6
Flughafen / Messe – Filderstadt	1	S	30	600	35	3	3,6
Rohr – Böblingen	2	S,F,R	15	600	20	3	3,6

¹⁾ außerhalb Bahnsteigbereich, am Bahnsteig 30 m

²⁾ Feuerbach – Zuffenhausen, ³⁾ Vaihingen – Rohr, ⁴⁾ Schwabstraße – Vaihingen

T_s Betriebliche Reaktionszeit, Z_s Züge je Störbereich und Richtung, L_s Störbereichslänge

S S-Bahn, F Fernverkehr, R Regionalverkehr

In Anlehnung an die an anderer Stelle der Studie skizzierten Netz-Optimierungspotentiale und unter Berücksichtigung, dass bei kurzer Blocklänge ausschließlich im Stationsbereich jeweils ein zusätzlicher Zug aufrücken kann, ergeben sich die Anzahl der Züge pro Funkzelle gemäß Abbildung 20.

BTS	Ungefährer, optimierter Versorgungsbereich BTS (km) ³⁾	S-Takt / Std / Richtung		Züge / BTS zeitgleich	Länge Störbereich (km)	Störfall Züge / BTS zeitgleich				
		S	F, R			S	S, Korrr Block ⁷⁾			
NORMALBETRIEB						STÖRFALL SBAHN				
Nordbahnhof – Zuffenhausen (4800, 4801)										
S-Zuffenhausen	2,4	5,0	2	2	3,6	4	2			
S-Feuerbach	1,4	5,0	2	2	3,6	2	2			
S-Nord ¹⁾	1,8	5,0	2		3,6	3	2			
Bad Cannstatt (4711, 4713, 4716)										
S-Cannstatt	2,5	5,0	2	2	3,6	4	2			
Rohr – Schwabstraße – Mittnachtstr (4805, 4861, 4860), Option BS Vai, Wildpark										
Mittnachtstraße	1,5	2,5	4		1,5	8	0			
Hauptbahnhof	1,5	2,5	4		1,5	8	0			
Stadtmitte	1,3	2,5	2		1,5	7	0			
Schwabstraße ²⁾	2,4	2,5	6		1,5	12	0			
Wildpark	2,6	2,5	4		4,8	4	0			
Universität	1,3	2,5	2		4,8	2	2			
Österfeld	1,7	2,5	2		4,8	3	2			
Vaihingen ²⁾	1,3	2,5	4		4,8	4	2			
Rohrer Kurve	2,3	15,0	2	1	3,6	4	2			
							1			
Rohr – Flughafen / Messe (4861)										
Leinfelden	3,4	15,0	2		3,6	6	2			
Echterdingen	1,4	15,0	2		3,6	2	2			
Flughafen/Messe	1,5	15,0	2		3,6	3	2			
Flughafen / Messe – Filderstadt (4861)										
Flughafen/Notausstieg	2,1	30,0	1		3,6	4	0			
Filderstadt ²⁾	1,2	30,0	2		3,6	3	0			
Rohr – Böblingen (4860)										
Berghau	1,6	15,0	2		3,6	3	0			
Mönchsbrunnen	3,3	15,0	2		3,6	6	0			
Goldberg	7,2	15,0	2		3,6	6	2			

¹⁾ optimiert

²⁾ inkl Wendebereiche

³⁾ Versorgungsbereich der Funkzelle gemäß optimiertem Design zwischen zwei GSM-R Zellwechselpunkten

⁴⁾ Theoretische Rechengröße gemäß Taktfahrplan

⁵⁾ Werte aufgerundet

⁶⁾ verifiziert mit Bildfahrplänen

⁷⁾ berücksichtigt kurzen Block im Bahnsteigbereich, Störfall Light Verspätung

Abbildung 20: Anzahl Züge pro Funkzelle im Normalbetrieb und im Worst Case-Störfall

2.2.2.7.2 Weitere Verkehrsanforderungen

Sprachverkehr

Es liegen graphische und teilweise tabellarische Auswertungen zur TRX-Auslastung auf Zellbasis (TCH/FR) für die Zeiträume September 2016 bis Dezember 2017 sowie April bis Juni 2018 für die Funkzellen der jetzigen Stammstrecke bzw. Teile des Bereiches bis S-Vaihingen vor (Quelle DB). Sie zeigen für die Funkzellen Hbf, Stadtmitte und Universität eine maximale Anzahl von zwei bis drei genutzten Zeitschlitten, Spitzen bleiben unberücksichtigt. Die Funkzellen Schwabstraße und S-Vaihingen (Österfeld) zeigen bedingt durch die Wendeschleife / -bereiche und einen im Vergleich zu den anderen Zellen der heutigen Stammstrecke größeren Versorgungsbereich einen erhöhten Wert von vier Zeitschlitten.

Aus den gemessenen Verkehrslasten lassen sich exemplarische, ungefähre zukünftige Verkehrsanforderungen für die Stammstrecke ableiten:

Tabelle 25: Ermittelte zukünftige, exemplarische Verkehrsanforderungen

	Mittnachtstr	Hbf	Stadtmitte	Schwabstr
Ist-Zustand				
Mittlere Last (mErl), repräsentativ ¹⁾	-	350	350	980
Mittlerer Versorgungsbereich (km) ²⁾	-	1,8	1,5	3,2
Mittlere Last (mErl) / km ³⁾	-	195	235	305
Plan-Zustand				
Mittlere Last (mErl) / km, 30 % Reserve ³⁾	255	255	305	395
Mittlerer Versorgungsbereich (km) ⁴⁾	1,6	1,5	1,3	2,4
Mittlere Last (mErl) ³⁾	410	385	365	950

¹⁾ Quelle DB, Werte gerundet

²⁾ Quelle DB, Messungen, Werte gerundet

³⁾ Werte gerundet

⁴⁾ Abschätzungen in einem optimierten Netzdesign

EBuLa

Im Einzelfall kann zum Download der EBuLa-Fahrplandaten, eine zusätzliche Verkehrskapazität notwendig werden. Entsprechende Verbindungsdatensätze der Funkzelle Schwabstraße (Quelle DB) zeigen für die

Hauptverkehrsstunde am Tag der höchsten Last einen repräsentativen Wert von 0,4 – 0,5 Erlang. Für diejenigen Funkzellen im Untersuchungsgebiet, an denen Züge wenden oder bereitgestellt werden, ist hierfür ein zusätzlicher Zeitschlitz vorzusehen.

Mischverkehr S-Bahn mit Fern- und Regionalstrecken

Im Untersuchungsgebiet findet teilweise S-Bahn-Verkehr parallel (4-gleisig) bzw. auf denselben Streckengleisen (2-gleisig) mit Fern- bzw. Regionalverkehr statt. Für die Untersuchung der Kanalkapazität bzw. deren Dimensionierung wird in den entsprechenden Bereichen dieser ebenfalls vollständig unter ETCS L2 geführt. Die in den jeweiligen Funkzellen dadurch notwendigen, zusätzlichen ETCS-bedingten Verkehrsanforderungen (Anzahl zur S-Bahn zeitgleicher Fern- bzw. Regiozüge) werden aus vorliegenden Bildfahrplänen (Quelle DB) des geplanten Fahrplans ermittelt. Sprachverkehr aus Fern- bzw. Regionalverkehren wird in den allgemeinen Anforderungen Sprachverkehr berücksichtigt.

Reine Fern- und Regionalstrecken (4703, 4715, 4726, 4813, 4861)

Streckenbereiche mit ausschließlichem Fern- bzw. Regionalverkehr, im Wesentlichen die das Untersuchungsgebiet tangierenden oder kreuzenden Neubau S21-Strecken sowie die Gäubahn, sind nicht Bestandteil einer detaillierten Untersuchung im Rahmen dieser Studie. Die erforderlichen Verkehrskapazitäten in diesen Bereichen können jedoch lokal Einfluss auf eine Gesamtbeurteilung der Frequenzsituation besitzen. Es wurde, ohne Vorlage detaillierter Verkehrsanforderungen, eine eigene Grobabschätzung in einem Normalbetrieb wie folgt angenommen:

- 3 TRX für BTS(n) S21 Hbf
- 1 bis 2 TRX für sonstige S21 BTS
- ein TRX für BTSSn Gäubahn

Strecken mit Mischverkehr außerhalb des Untersuchungsgebiets (4720, 4801, 4811, 4820, 4821, 4826)

Diese Streckebereiche und deren BTS erfahren durch das S-Bahn-ETCS keine Änderungen ihrer Verkehrslasten. Für die Beurteilung der Frequenzsituation im Knoten Stuttgart kann - sofern durch Lastmessungen verifiziert - die Reduzierung auf lokal 1 TRX geboten sein.

Rangierfunk

Rangierfunk findet im betrachteten Bereich nicht statt.

2.2.2.7.3 Anzahl notwendiger Zeitschlitte pro Funkzelle

Für Sprachverkehr in Telekommunikationssystemen errechnen sich üblicherweise die notwendigen Sprachkanäle (Zeitschlitte) gemäß einem Blockiersystem mit Erlang-B-Statistik. Gängige Systeme werden für Blockierwahrscheinlichkeiten von 2...5 % dimensioniert. Eine Dimensionierung auf Basis der Erlang B Statistik ist auf Grund der vergleichsweisen, durchschnittlich geringen Verkehrsangebote einerseits und ausgeprägten,

jedoch meist sehr kurzen, Lastspitzen andererseits, im Bahnumfeld jedoch nur bedingt aussagekräftig. Der Notruf unterliegt auf Grund seiner Priorisierung keiner Blockierung.

Entsprechend dem jeweiligen Versorgungsbereich, Takt und der Anzahl zeitgleich verkehrender Züge sind daher

- 2 bis 4 Zeitschlitz TCH je Funkzelle für Sprachverkehr
- ein Zeitschlitz TCH je Funkzelle für Wendebereiche mit EBuLa-Download

zu dimensionieren.

Der ETCS-Datenfunk hat eine höhere Priorisierung als betrieblicher Sprachfunk. ETCS-Datenverkehr erfordert für den betrachteten Fall CSD (Circuit Switched Data)

- 1 Zeitschlitz permanent aktiv je Zug
- 1 Zeitschlitz permanent aktiv je Zug nur im Bereich und nur für die Dauer eines RBC-RBC-Wechsels

Für Wendebereiche unter ETCS wird nur ein permanent aktiver Zeitschlitz je Zug benötigt.

Für die Funkzellen im Untersuchungsgebiet ist auf Grund der zu erwartenden höheren Signalisierungslast und vorbehaltlich notwendiger Absprachen mit dem Systemlieferanten

- 1 Zeitschlitz pro TRX für Signalisierung

vorzusehen.

Die Anzahl notwendiger Zeitschlitz ist für die Bewertung der Kanalkapazitäten auf Basis der einzelnen Funkzellen zu ermitteln. Die jeweils geltenden Streckenkenngrößen sind zu berücksichtigen.

BTS	Ungèfährer, optimierter Versorgungsbereich BTS (km) ³⁾	NORMALBETRIEB						STÖRFALL SBAHN						A. installierte TS	Störfall, %-Auslastung			
		S	F, R	Perm	RBC HO	TS ECTS (S, F, R)	TS TCH (S, F, R)	Normalbetrieb TS (S, F, R) (ETCS)	Länge Stöfbereich (km)	S	S, Korrr Block ⁷⁾	F, R	Perm	RBC HO	TS ECTS (S, F, R)	TS TCH (S, F, R) (ETCS)		
NORMALBETRIEB																		
Nordbahnhof – Zuffenhausen (4800, 4801)																		
S-Zuffenhausen	2,4	2	2	4	2	4	10	0,71	3,6	4	2	2	8	2	4	14	14	1,00
S-Feuerbach	1,4	2	2	4	2	3	9	0,64	3,6	2	2	2	6	2	3	11	14	0,79
S-Nord ⁵⁾	1,8	2		2	2	3	7	0,50	3,6	3	2	5	2	3	10	14	0,71	
Bad Cannstatt (4711, 4713, 4716)																		
S-Cannstatt	2,5	2	2	4	4	4	12	0,57	3,6	4	2	2	8	4	4	16	21	0,76
Rohr – Schwabstraße – Mittestrasse (4805, 4861, 4860), Option BS Val, Wildpark																		
Mittestrasse	1,5	4		4		4	8	0,57	1,5	8	0	8		4	12	14	0,86	
Hauptbahnhof	1,5	4		4		4	8	0,57	1,5	8	0	8		4	12	14	0,86	
Stadtmitte	1,3	2		2		3	5	0,36	1,5	7	0	7		3	10	14	0,71	
Schwabstraße ²⁾	2,4	6		6		5	11	0,52	1,5	12	0	12		5	17	21	0,81	
Wildpark	2,6	4		4		3	7	0,50	4,8	4	0	4		3	7	14	0,50	
Universität	1,3	2		2		2	4	0,29	4,8	2	2	4		2	6	14	0,43	
Österfeld	1,7	2		2		3	3	0,57	4,8	3	2	5	3	3	11	14	0,79	
Vaihingen ³⁾	1,3	4		4	3	5	12	0,86	4,8	4	2	6	3	5	14	14	1,00	
Rohrer Kurve	2,3	2	1	3		3	6	0,43	3,6	4	2	1	7		3	10	14	0,71
Rohr – Flughafen / Messe (4861)																		
Leinfelden	3,4	2		2		2	4	0,29	3,6	6	2	8		2	10	14	0,71	
Echterdingen	1,4	2		2		2	4	0,29	3,6	2	2	4		2	6	14	0,43	
Flughafen/Messe	1,5	2		2		4	6	0,43	3,6	3	2	5		4	9	14	0,64	
Flughafen / Messe – Filderstadt (4861)																		
Flughafen/Notausstieg	2,1	1		1		1	2	0,29	3,6	4	0	4		1	5	7	0,71	
Filderstadt ²⁾	1,2	2		2		2	4	0,57	3,6	3	0	3		2	5	7	0,71	
Rohr – Böblingen (4860)																		
Bergbau	1,6	2		2		2	4	0,29	3,6	3	0	3		2	5	14	0,36	
Mönchsbrunnen	3,3	2		2		2	4	0,29	3,6	6	0	6		2	8	14	0,57	
Goldberg	7,2	2		2		4	6	0,43	3,6	6	2	8		4	12	14	0,86	

¹⁾ optimiert
²⁾ inkl Wendebereiche
³⁾ Versorgungsbereich der Funkzelle gemäß optimiertem Design zwischen zwei GSM-R Zellwechselpunkten
⁴⁾ Theoretische Rechengröße gemäß Taktfahrplan
⁵⁾ Werte aufgerundet
⁶⁾ verifiziert mit Bildfahrlänen
⁷⁾ berücksichtigt kurzen Block im Bahnsteigbereich, Störfall Light Verspätung

Abbildung 21: Verkehrsberechnungen je Funkzelle für Normalbetrieb und Worst Case-Störfallszenario

Variationen wesentlicher Parameter

Ein geändertes Netzdesign, beispielsweise Verzicht auf die Funkzelle S-Vaihingen, würde eine entsprechend erhöhte Verkehrslast der benachbarten Funkzellen S-Österfeld (Störfall +2 Zeitschlitz) und S-Rohr (Störfall +8 Zeitschlitz) zur Folge haben.

Eine Verdichtung des Taktes bei unveränderten sonstigen Parametern, beispielsweise 2 Minuten auf der Stammstrecke und entsprechend 4 Minuten auf dem nördlichen und östlichen Zulauf, bewirken

- im Normalbetrieb jeweils +2 Zeitschlitz in den Funkzellen Stadtmitte und Schwabstraße
- im Störfall +2 Zeitschlitz in der Funkzelle Schwabstraße

und damit lediglich eine verträglich höhere prozentuale Auslastung der unveränderten, zu installierenden Kapazitäten.

2.2.2.8 Auswirkungen der Festnetzanbindung auf die Stabilität eines GSM-R-Netzes

Die Anbindung der BTS sollte in Loopkonfiguration (Ringstruktur) durchgeführt werden. Hierbei werden die Basisstationen von der BSC aus in 2-Mbit/s-Ringen zusammengefasst. Die Netzausfallsicherheit ist deutlich höher als bei der rein sequenziellen Anbindung. Im Störungsfall bleiben die anderen Netzelemente noch voll funktionsfähig. Für einen Netzbetreiber mit einer hohen Anforderung an die Systemverfügbarkeit stellt die Anbindung in Loopkonfiguration eine sehr gute Lösung dar.

Die Ursachen für nicht verfügbare Netzwerkelemente sind in hohem Maße verursacht durch das Einspielen von fehlerhafter Konfiguration oder bei Konfigurationsarbeiten. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die Ringstruktur auf der S-Bahn-Stammstrecke in Stuttgart nur mit ETCS-führenden BTS zu bestücken und bei BTS-Strukturänderungen, wenn notwendig nur weitere ETCS-BTS hinzuzufügen und nicht BTS von anderen Strecken in die Ringe aufzunehmen.

Anbindung von BTS an BSC

Die ggf. neu zu errichtenden BTS sind in ihrer Anbindung an die BSC neu zu planen. Bei dieser Planung gilt die Regel, drei oder maximal vier BTS in einer Ringanbindung zu konfigurieren. Für das Projekt Stuttgart Stammstrecke wird wie oben gezeigt empfohlen, dass in einem BTS-Ring nur drei BTS angebunden werden, damit in den Ringen noch eine Reserve für weitere BTS vorgehalten wird. Wie oben beschrieben, treten nicht selten bei Konfigurationsänderungen Fehler auf. In Ringen mit drei BTS stehen dann zunächst lediglich Erweiterungen an und keine Konfigurationsänderungen. Im ETCS-Projekt Stuttgart Stammstrecke empfehlen wir noch zusätzlich, die BTS alternierend in Ringen anzubinden. Zwei aufeinanderfolgende BTS wären damit stets in zwei verschiedene Ringe eingebunden. Diese alternierende BTS-Anbindung bringt noch zusätzliche Sicherheit bei einer erweiterten Störung in der Übertragungstechnologie.

BSS-Redundanz auf Basis einer doppelten BTS-Anbindung zur BSC/TRAU ist systembedingt nicht möglich. Es ist auch im jetzigen Zustand noch zu klären an welche BSC die einzelnen BTS angebunden werden und welche Netzwerkstruktur damit aufgebaut wird. Gutachterlich wird empfohlen, eine dedizierte reine ETCS-BSC für die BTS der ETCS-Strecken einzurichten. Hierdurch soll eine Reduzierung operativer Fehler angestrebt werden.

Im Rahmen einer Redundanzoption eine zusätzliche, getrennte BSC zu installieren wäre als Sondermaßnahmen zu planen und auszuführen. Bei Einsatz einer redundanten BSC müssen die Übertragungswege so ausgelegt sein, dass bei Totalausfall der ersten BSC mit einfacher Umkonfigurierung des Übertragungssystems die BTS-Anbindungen zur zweiten BSC (siehe Abbildung 22) erfolgen kann. Diese zweite BSC muss dann erlauben, das Übertragungssystem an die TRAU anzubinden. Die TRAU muss dann die BTS-Signale an das MGW übergeben können. Die zweite BSC / TRAU muss dann die gleiche Konfiguration wie die primäre BSC / TRAU im Normalbetrieb haben.

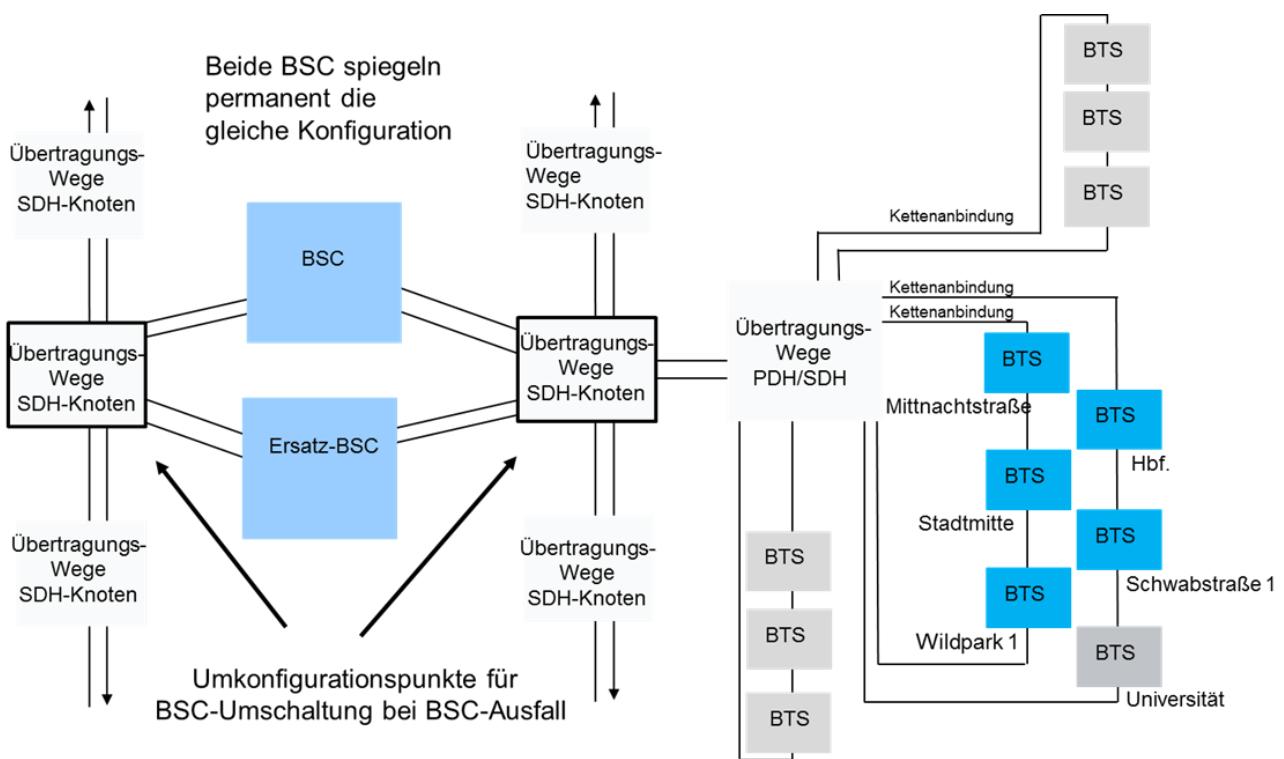


Abbildung 22: Mögliche Einbindung einer Ersatz-BSC in die GSM-R-Netzwerkstruktur und abwechselnde BTS-BSC-Anbindung

Anbindung BSC an MSC

Die Anbindung der BSC an TRAU/MGW/MSC-S im jetzigen Zustand ist nicht Gegenstand der aktuellen Betrachtung. Grundsätzlich werden beide BSC so konfiguriert, dass sie an dieselbe TRAU angebunden sind bzw. werden, welche ihrerseits auch an zwei MGW angebunden sein soll.

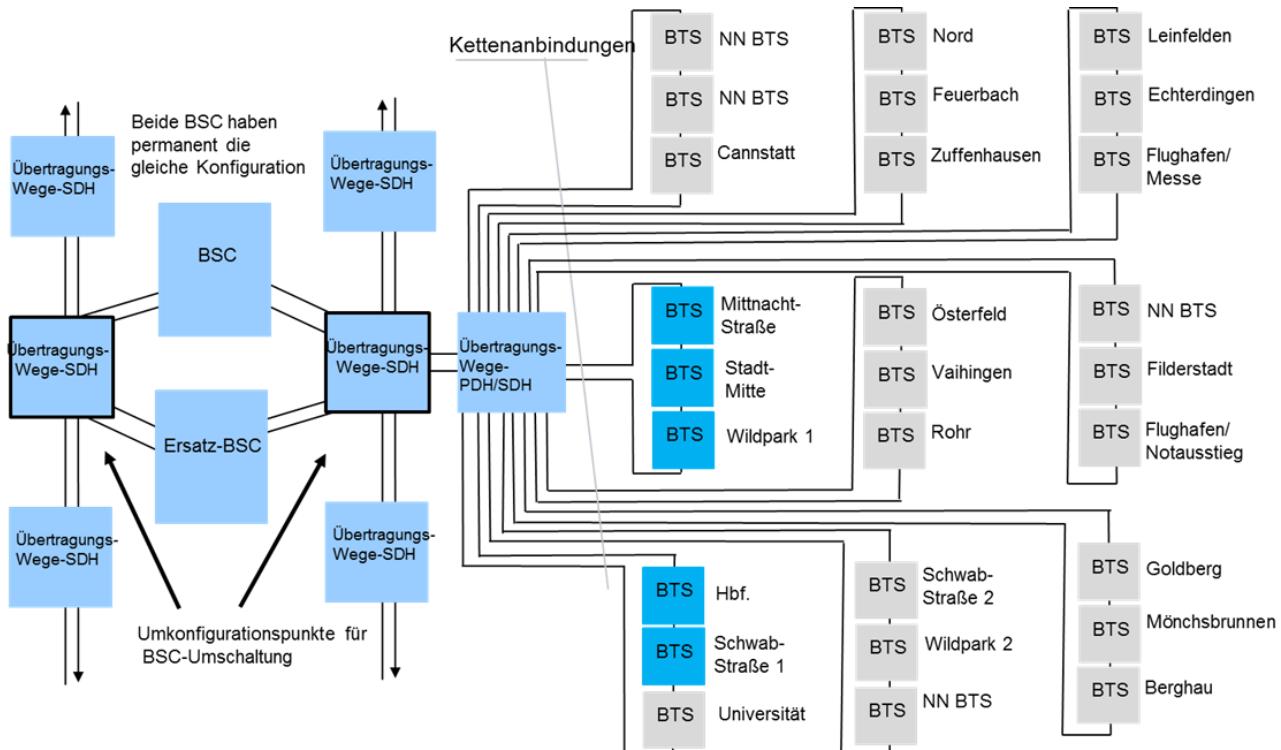


Abbildung 23: Mögliche Anbindung einer Ersatz-BSC an die GSM-R-Netzwerkstruktur im Projekt S-Bahn Stuttgart

Service Level Agreement (SLA)

Zum derzeitigen Stand der Instandhaltungsregelung ist eine SLA-Vereinbarung gültig für das gesamte GSM-R-Netzwerk der DB. Bei fortschreitender Einführung von ETCS und damit auch von weitergehenden Diensten über die Sprachkommunikation hinaus, empfiehlt sich eine Anpassung des existenten SLA. Da insbesondere der Bahnbetrieb zunehmend stärker abhängig von installierten Technologien und Software ist, empfehlen wir, dass die DB für die Wartung und Instandsetzung Prioritäten z. B. für Stammstrecken und Knoten definiert und dann Service-Ebenen vereinbart werden, die besser absichern bzw. schnellere Reaktionszeiten erhalten.

Es ist damit zu rechnen, dass die Verhandlung eines neuen Instandhaltungsvertrages Zeit in Anspruch nehmen wird und der Dienstanbieter z. B. DB Kommunikationstechnik die neu verhandelten Dienste auch gewährleisten könnte.

Bei Verhandlungen sollte sich das Projekt Stuttgart Stammstrecke auf folgende Themen fokussieren:

- Entsprechende Erweiterung von Instandhaltungsdienstorten in Stuttgart (wenn nicht schon vorhanden) und erweiterter Satz von Ersatzteilen im Lager und notwendige Werkzeuge im Raum Stuttgart platzieren. Diese Maßnahmen können dazu dienen, die Entstörung schneller und effektiver zu gestalten.
- Nutzungskonzept mit optimierter Fehlererkennung und Entscheidungsprozess zur möglichen Aktivierung der Ersatz-BSC oder auch -TRAU.
- Erweitern der Übertragungswege und anderer Anlagen mit redundanten Wegen und Komponenten zur Erhöhung der gesamten Systemredundanz, damit die redundanten Komponenten ermöglichen, nicht mehr blockierende Ersatzwege oder Nutzung von Ersatzsystemen einzusetzen (weitere Untersuchung notwendig).

- Beginn einer eventuellen Fehlerbeseitigung innerhalb von 30 Minuten / einer Stunde bei kritischen Fehlern nach Ausfallkategorien und entsprechende Klassen von Entstörmaßnahmen
- Periodische Kontrolle und Messungen bei Schlitzkabelfunkversorgung.
- Die Entstörungs-, Maintenance- und Anlagearbeiten in Raum Stuttgart bei ETCS-L2-Strecken und Anlagen bevorzugen.
- Die regelmäßigen prophylaktischen Anlagearbeiten auch erweitern auf die Messungen von betrieblichen Werten wie z. B. GSM-R-Feldstärke, um Degradation im Zeitlauf zu erkennen.
- Periodische Kontrolle und Messungen bei Schlitzkabelfunkversorgung.
- Die Entstörungs-, Maintenance- und Anlagearbeiten in Raum Stuttgart bei ETCS-L2-Strecken und Anlagen bevorzugen.

Gemessene Verfügbarkeitswerte (Nortel Technologie)

Die gemessenen Verfügbarkeitswerte für die GSM-R-Anlagen werden auf Zellbereichsebene ausgewiesen. Aus diesem Grund ist es schwierig auszuwerten, welche GSM-R-Netzwerkanlagen wirklich ausgefallen sind. Bei diesen Fehlerauswertungen sind reale Verfügbarkeitswerte schwer mit berechneten Werten zu vergleichen. Für die neuen NSN-Technologien sind folgende Punkte zu beobachten:

- Die realen Verfügbarkeitswerte aus den DBAG GSM-R-Netzbetrieb
- BTS-Ausfälle pro Jahr
- Stromausfälle mit Auswirkung auf den GSM-R-Dienst in Bereich Stuttgart
- Übertragungswege und Kabel Schäden und Ausfälle
- Andere Ausfälle von GSM-R-Technik (z. B. Feederkabel, Schlitzkabel, Antenne)

Falls die im tatsächlichen Betrieb erhobenen Verfügbarkeitswerte unter den Erwartungen zurückbleiben, sollten weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Verfügbarkeit ergriffen werden.

2.2.3 Analyse des aktuellen Ist- / Planstandes und mögliche Optimierungsansätze

Der aktuelle GSM-R-Planungsstand für S-Bahn-ETCS basiert im Wesentlichen auf dem Ist-Stand der jeweiligen Streckenbereiche sowie der neu einzurichtenden Stationen Mittnachtstraße, Bad Cannstatt, Feuerbach, Untertürkheim und Rohr. Er beschränkt sich auf die Standortplanung der Funkstationen. Weiterführende Planungen wie Funkversorgungsbereiche der zukünftigen Zellen, resultierende Zellgrößen und Zellwechselbereiche, betrieblich-verkehrliche Aspekte und deren notwendige Umsetzung in GSM-R, Frequenzplanung sowie weitergehende Anforderungen als die für ETCS gültigen Qualitätsparameter, sind überwiegend noch nicht verfügbar.

Der heutige Lieferant des BSS ist Nortel und wird weiter nicht betrachtet, da im Rahmen des aktuellen BSS-Reinvest und für Stuttgart 21 zukünftig Nokia-Anlagen vorgesehen sind und innerhalb der nächsten Jahre verbaut und verwendet werden.

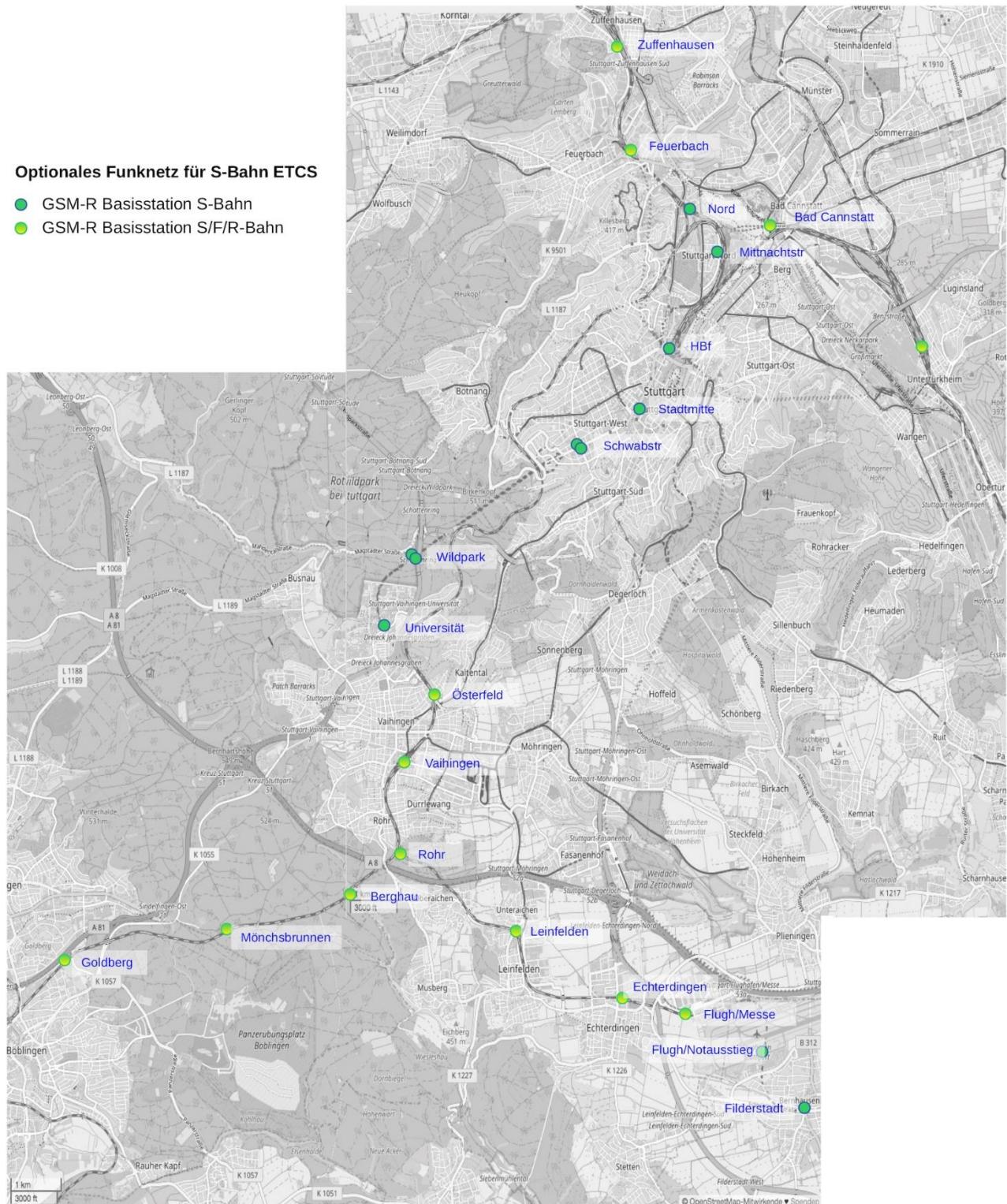


Abbildung 24: Beispielhafte Übersicht eines optional optimierten GSM-R-Funknetzes für S-Bahn-ETCS, Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap

Die Übertragungstechnologie muss es ermöglichen, Übertragungswege und Datenströme so umzukonfigurieren, dass eine Ersatz-BSC oder auch -TRAU bei Ausfall der Regel-BSC oder auch -TRAU sehr schnell zum

Einsatz kommt. Dies erfordert die entsprechenden Kapazitäten auf den Übertragungswegen sowie ein vorab definiertes und geprüftes Umschaltzenario.

2.2.3.1 Festnetzanbindung der BTS und der BSC

Ein Planungsstand der Festnetzanbindung steht zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht zu Verfügung. Die BTS müssen von beiden Seiten an die zuständige BSC angebunden sein. Die Festnetzanbindung einer einzelnen BTS an eine BSC kann nicht redundant ausgelegt werden. Daher müssen die BTS in einem Ring von beiden Seiten an die BSC angebunden sein. Die Planungsregeln der DB sind hierbei unverändert anzuwenden.

Da die derzeitigen Planungsrichtlinien zur Festnetzanbindung der DB Netz eine nachweislich hinreichende Stabilität und Ausfallsicherheit der Festnetzanbindung zeigen, sind Vorschläge für eine weitere Härtung wirtschaftlich derzeit nicht darstellbar.

2.2.3.2 Funknetzplanung

Für die Bewertung des Ist-Zustandes liegen Messprotokolle vor. Die hierin dargelegten Ergebnisse und Aussagen beziehen sich auf die für GSM-R erforderliche Versorgungsgüte für Sprache. Es ist von Messfahrten unter Normalbetrieb auszugehen. Die Messwerte lassen sich insbesondere daher nicht für durch nachfahrende Züge im „zugefahrenen Tunnel“ im Rahmen eines „Worst-Case-Störfallszenarios“ interpretieren.

Die bestehende GSM-R-Infrastruktur ist nicht für ETCS geplant und gewährleistet nicht durchgängig die hierfür geforderte erhöhte Funkversorgungsgüte und bietet nicht die erforderliche Kapazität für ETCS.

Die in Kapitel 2.2.2 ausgeführten Planungsgrundsätze bezüglich Funknetzplanung stehen in gewissen Abhängigkeiten zueinander und müssen für den relevanten Bereich der S-Bahn Stuttgart in ein schlüssiges Gesamtdesign überführt werden, das den betrieblichen und qualitativen Anforderungen jederzeit Rechnung trägt. Die Optimierungsansätze verfolgen daher zunächst primär das Ziel eines hinsichtlich Güte und Stabilität bestmöglichen Funknetzes bei minimalen Bitfehlerraten und Laufzeiten zu realisieren. Zellwechsel bedeuten immer eine kurzfristige Datenunterbrechung in der ETCS-Anwendung. Es ist daher insbesondere darauf zu achten, dass Zellwechsel auf das notwendigste Maß begrenzt und diese möglichst reproduzierbar unter allen Betriebsbedingungen, an Punkten ohne betriebskritischen ETCS-Datenverkehr geschehen.

Auf dieser Basis und unter Berücksichtigung der Analyse des Ist- bzw. Planungsstands ergeben sich unterschiedliche Optionen einer möglichen Realisierung, die in ihren Vor- und Nachteilen bewertet werden müssen. Zahlreiche Varianten innerhalb der nachfolgend skizzierten Möglichkeiten sind denkbar, sollen jedoch an dieser Stelle nicht vertieft werden. Im Rahmen einer detaillierten Entwurfs-Netzplanung sind die technischen Details zu verifizieren bzw. zu optimieren.

2.2.3.2.1 Bereich S-Zuffenhausen / S-Bad Cannstatt – S-Mitnachtstraße (Nördlicher / Östlicher Zulauf)

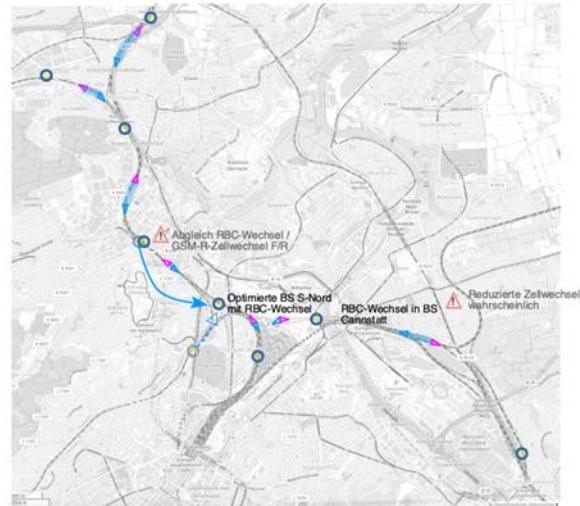
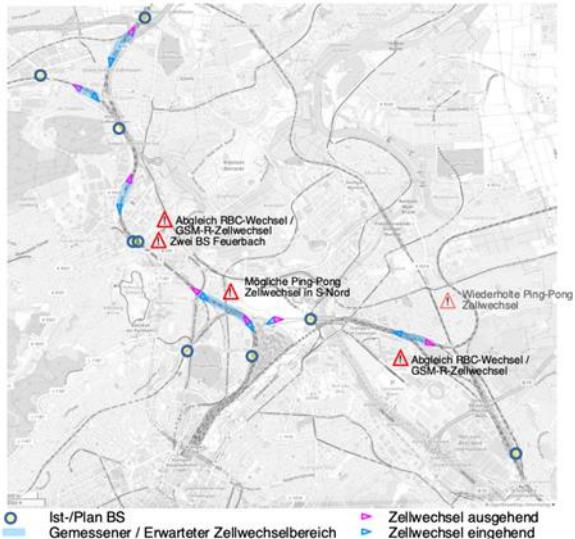


Abbildung 25: Funknetz Nördlicher/ Östlicher Zulauf (Ist- / Planstand links; Optimierungspotenzial rechts), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap

Hinweise zu den neu zu errichtenden Tunnelabschnitten S-Mitnachtstraße – S-Nordbahnhof bzw. S-Bad Cannstatt finden sich in der Bewertung der Stammstrecke.

Ist-/Planstand-Analyse

Es liegen Funkfeldmessungen für die gegenwärtigen Bereiche des nördlichen und östlichen Zulaufs vor. Diese zeigen

- für ETCS L2 ausreichende Funkversorgungspegel im Bereich der heutigen Strecken
- Mehrfachversorgung nördlich des Pragtunnels
- ungefähre Längen der Versorgungsbereiche S-Zuffenhausen (2,5 km) S-Feuerbach (1,6...2,1 km), Bereich S-Nordbahnhof durch BTS S-Eckartshaldenweg (0,9 km)
- für ETCS kritische Zellwechsel im Bereich S-Nordbahnhof und wiederholte Zellwechsel im gesamten östlichen Zulauf.
- im östlichen Zulauf des erweiterten Bereichs S-Bad Cannstatt teilweise schlechte Netzqualität bei ausreichendem Funkversorgungspegel, keine eindeutigen Versorgungsbereiche der einzelnen Funkzellen und demzufolge mehrfache, qualitätsbedingte Zellwechsel
- keine ersichtlichen Hinweise auf externe Störer

Hinsichtlich der zukünftigen Trennung von S-Bahn und Fern- bzw. Regionalverkehre im Bereich der Station S-Feuerbach sowie einer ökonomischen Frequenz- und Parameterplanung werden zwei Basisstationen S-Feuerbach als problematisch erachtet. Dahingegen ist die neu geplante BTS S-Bad Cannstatt am Ostportal des neuen Rosensteintunnels für eine gemeinsame Nutzung aller Verkehre ausgelegt. Die heutigen Basisstationen S-Hbf Rafu und S-Rosensteintunnel entfallen zukünftig.

Mit den geplanten Maßnahmen im Bereich S-Bad Cannstatt sind die für ETCS notwendigen Qualitätskriterien erreichbar.

Optimierungspotenziale

Der Bereich S-Nordbahnhof ist zur Sicherstellung wie folgt zu optimieren:

- eindeutige Funkversorgungsverhältnisse
- ausreichende Funkversorgung S-Feuerbach – S-Mitnachtstraße (bei Ausfall der Station S-Mitnachtstraße im Falle einer optionalen Doppelversorgung)
- keine Zellwechsel innerhalb der Station S-Nord und des dort geplanten RBC-Wechselbereichs
- Entzerrung bzw. Reduzierung der Verkehrslast der BTS S-Feuerbach durch eine ausschließlich die S-Bahn versorgende BTS S-Nord

Dies könnte bevorzugt durch Verschiebung der aktuell geplant zweiten BTS Feuerbach in die Station S-Nordbahnhof erreicht werden. Die bestehende BTS S-Eckartshaldenweg ist gegebenenfalls abzuschalten bzw. zu modifizieren, um ein kurzfristiges Ein- und Ausbuchen auf diese Station in den für ETCS besonders kritischen Bereichen zu vermeiden. Eine für ETCS ausreichende Funkversorgung des Pragtunnels durch konventionelle Antennensysteme wird als realistisch erachtet.

Der Zellwechselbereich zwischen den BTS S-Bad Cannstatt / S-Untertürkheim ist mit dem geplanten RBC-RBC-Wechselbereich innerhalb der Station S-Bad Cannstatt zu entzerren. Im östlichen Zulauf aus Richtung Fellbach (Strecke 4713) ist eine Neudeinition der Versorgungsbereiche und eine Reduzierung der Zellwechsel erforderlich.

2.2.3.2.2 Stammstrecke S-Mitnachtstraße – S-Schwabstraße

Ist-/ Planstand- Analyse

Für den Tunnelabschnitt der gegenwärtigen Stammstrecke S-Hbf – S-Schwabstraße sind Funkfeldmessungen verfügbar. Standortplanungen für die neu zu errichtenden Stationen S-Mitnachtstraße und S-Bad Cannstatt sind verfügbar.

- Die heutige Funkversorgung im Bereich der Wendeschleife S-Schwabstraße ist in Abschnitten für ETCS nicht ausreichend.
- Für die neu zu bauenden Bereiche S-Hbf – S-Nordbahnhof bzw. S-Bad Cannstatt sind die Messprotokolle hinsichtlich der Beurteilung einer zukünftigen Funkversorgung irrelevant.
- Im Bereich der heutigen Stammstrecke schwanken die tatsächlichen, durch Zellwechsel dargestellten, Versorgungsbereiche der einzelnen Zellen wesentlich und sind teilweise richtungsabhängig. Ursächlich hierfür ist die abschnittsweise Doppelversorgung über konventionelle Antennensysteme und / oder nicht optimierte Zellwechselparameter. Es sind nicht immer eindeutig definierte „Best Server“-Verhältnisse ersichtlich. Es ist von Messfahrten außerhalb des Regelbetriebes auszugehen.
- Zellwechsel, die auf Grund der hierdurch verursachten Unterbrechungen der Datenübertragung für den ETCS Betrieb kritisch sind, treten gegenwärtig insbesondere im Bereich der Station S-Feuersee auf.
- Für den gesamten Bereich, einschließlich der neu zu bauenden Abschnitte S-Hbf – S-Mitnachtstraße – S-Bad Cannstatt bzw. Nordbahnhof, ist gegenwärtig eine Funkversorgung ausschließlich über konventionelle Antennensysteme vorgesehen. Diese neu zu bauenden Abschnitte befinden sich überwiegend in Bögen und sind zukünftig durch vermehrt dicht nachfahrende Züge gekennzeichnet. Die Funkausbreitung in diesen Bereichen erfolgt nahezu ausschließlich über Mehrwegeausbreitung. Eine

stabile Funkversorgung wird im Hinblick auf ein mögliches Worst-Case-Störfallszenario als kritisch erachtet.

- Zwischen S-Hbf und S-Schwabstraße besteht aktuell „Doppelversorgung“ durch mehrere Basisstationen zwischen Streckenkilometer 0,3...1,2 sowie 1,6...2,4. Dies umfasst insgesamt ca. 40% der jetzigen und ca. 25% der zukünftigen Stammstrecke bei erhöhter ETCS-Versorgungsgüte. Der aktuelle Planstand sieht keine funktechnische Doppelversorgung bzw. Redundanz sowohl der Basisstationen als auch der Antennensysteme vor.

Außerhalb dieses Tunnelbereiches wird – u. a. aus Gründen der Frequenzverfügbarkeit und -wiederbenutzung – eine Dopplung der Coverage nicht grundsätzlich empfohlen.

Optimierungspotenziale

Versorgungskonzept Stammstrecke ausschließlich über konventionelles Antennensystem (Option A)

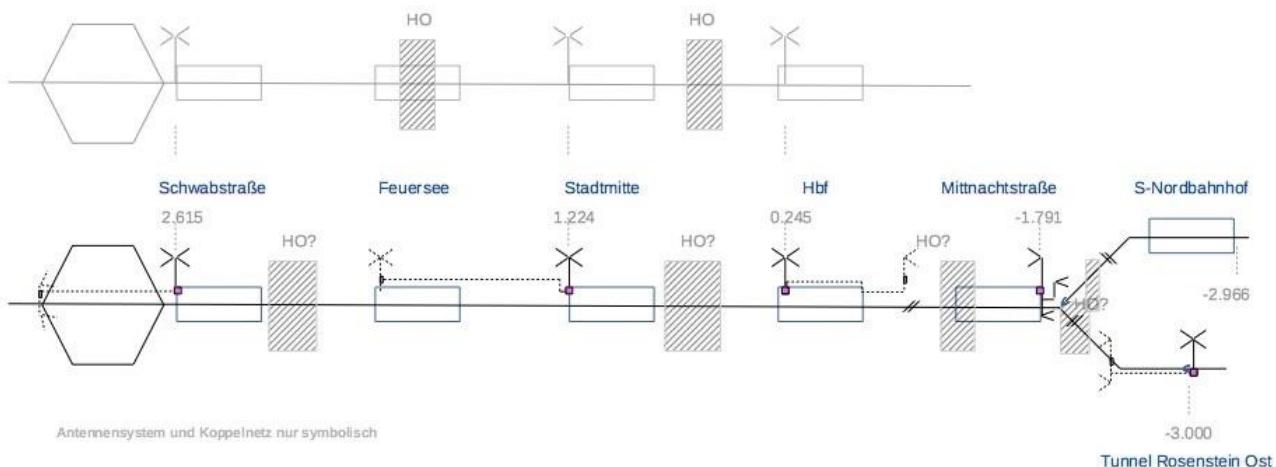


Abbildung 26: Versorgungskonzept Stammstrecke ausschließlich über konventionelles Antennensystem (Option A)

Abbildung 26 zeigt die wesentlichen Eigenschaften des Versorgungskonzeptes als „Option A“:

- Auf derzeitigem Planstand (ohne ETCS) aufbauend, nicht empfehlenswert
- Erfordert über den Planstand hinausgehende Antennenstandorte
- Einbringung weiterer aktiver Elemente / Verstärker zur Gewährleistung ausreichender Funkversorgung wahrscheinlich und damit inhomogenere Zellbereiche
- Durch schwankenden Belegungsgrad der Tunnel keine hinreichend stabile Kontrolle der Zellbereiche und Zellwechsel-Punkte
- Risiko ungleichmäßiger Verkehrsauslastung der einzelnen Zellen
- Örtliche Funknetzgüte auf Grund wechselnder Funkausbreitungsbedingungen in Stationen und Tunnelabschnitten schwer prognostizierbar
- durchgängige Doppelversorgung* ungewiss

*Hinweis: Doppelversorgung bedeutet in diesem Kontext eine Funkversorgung der BTSn über die direkte Nachbar-BTS n+1 hinaus, so dass bei deren Ausfall im Zusammenwirken mit der BTS n+2 diese mit geforderter

Güte durchgängig gewährleistet ist. Die Doppelversorgung erhöht die Stabilität und Serviceverfügbarkeit, nicht jedoch die Systemverfügbarkeit (MTBF), ausschließlich auf Basis entsprechend kurzer BTS-Abstände. Es handelt sich um eine Ebene von BTsN („1 Layer Single Coverage“).

Versorgungskonzept Stammstrecke mit durchgängigen Schlitzkabeln im Tunnel (Option B)

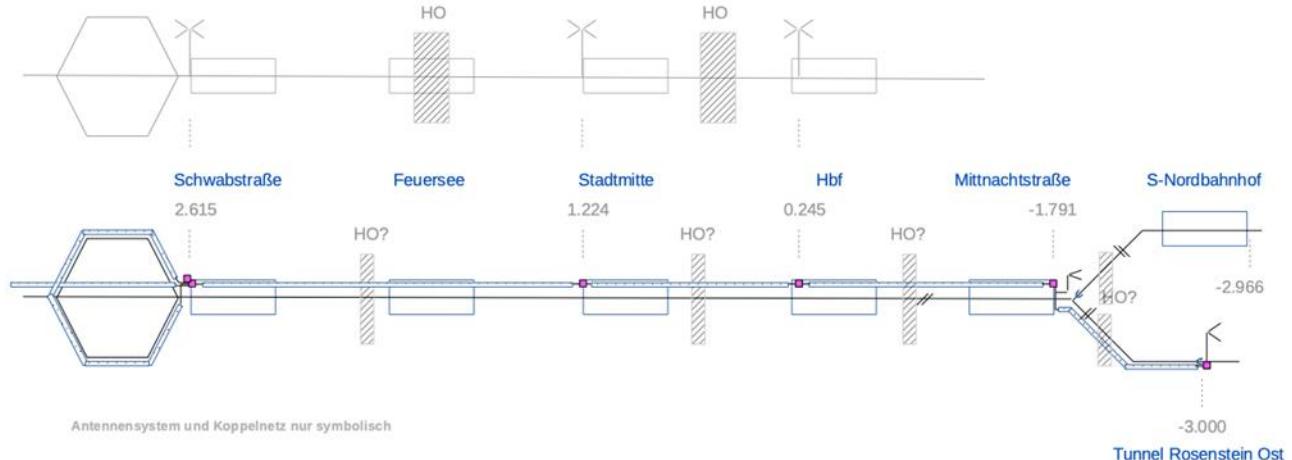


Abbildung 27: Versorgungskonzept Stammstrecke mit durchgängigen Schlitzkabeln im Tunnel (Option B)

Option B des Versorgungskonzeptes (siehe Abbildung 27) sieht durchgängige Schlitzkabel, in doppelgleisigen Tunnel und Stationen beidseitig, in eingleisigen Tunnelabschnitten jeweils einseitig, vor. Durch weitgehende Symmetrie können die Zellwechsel gezielt in Bereiche außerhalb der Stationen gelegt werden, eine Justierung durch geeignete Parametereinstellungen wird als notwendig erachtet.

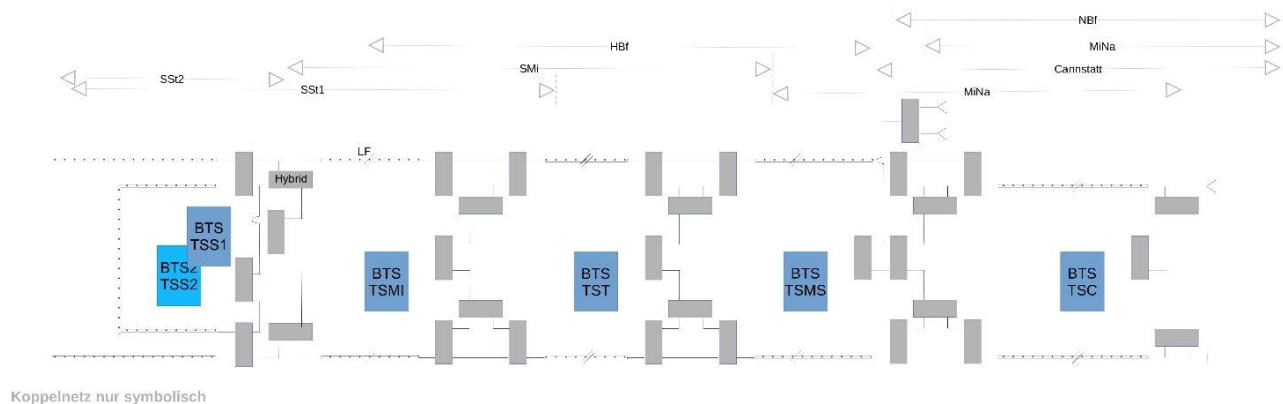


Abbildung 28: Schematische Darstellung der BTS-Verteilung zwischen Schwabstraße (TSS) und Bad Cannstatt (TSC) in Kombination mit Schlitzkabeln

Wie in Abbildung 28 dargestellt, lässt sich mit Schlitzkabeln hinreichender elektrische Güte aufgrund der relativ kurzen BTS-Abstände überdies eine funktechnische Doppelversorgung, unter nachfolgenden Randbedingungen, im gesamten Abschnitt realisieren:

- Einzig die BTS S-Schwabstraße müsste redundant aufgebaut werden, da im Fehlerfall eine hinreichende Funkversorgung der Wendeschleife durch benachbarte BTS nicht gewährleistet ist. Innerhalb eines möglichen Konzepts stellt durch geeignete Wahl der Zellwechselbereiche die dortige BTS TSS1

die Versorgung der Strecke und der Wendeschleife sicher, die BTS TSS2 ist ohne Verkehr. Nur im Fehlerfall übernimmt diese die Versorgungsbereiche Richtung Universität und Wendeschleife.

- Bei Ausfall der BTS S-Mitnachtstraße ist der Bereich Hbf – Bad Cannstatt über die das durchgängige Schlitzkabel versorgt. Für den Bereich Hbf – Nordbahnhof ist jedoch sicherzustellen, dass eine ausreichende Funkversorgung (über konventionelle Antennen) vom Nordbahnhof ausgehend bis in die Station S-Mitnachtstraße gewährleistet ist. Dies spricht – neben anderen Gründen – für eine dedizierte BTS S-Nordbahnhof.

Exemplarische Dimensionierung des Koppelnetzes und der Schlitzkabel:

- 3-Stufen Hybridkoppelnetz, Kabel, Konnektoren: 13 dB
- Margin für Antenne in 3 m: 2 dB
- Margin für Polarisation, Fading, Interferenz: 3 dB
- Ausgangsleistung BTS nach Combiner: 43 dBm
- System Loss im Downlink: $SL_{max} (\text{dB}) = 43 - 13 - 3 - 2 + 95 = 120$

Beispielhafte Schlitzkabel und deren typische Reichweiten:

- RFS RAY158-50JFLA@95%: 123 dB bei 1,84 km, 120 dB bei 1,74 km, 114 dB bei 1,55 km
- RLK158-50CPR@95%: 123 dB bei 1,71 km, 120 dB bei 1,63 km, 114 dB bei 1,45 km

Die wesentlichen Eigenschaften dieser Option sind:

- robust hinsichtlich Funkversorgungsgüte unter allen betrieblichen Bedingungen
- stabile Zellgrößen unter allen Betriebsbedingungen
- sehr gute Kontrolle der Zellwechselpunkte, minimale Anzahl von Zellwechseln
- Höherer Installations- und Wartungsaufwand
- teuerste, nicht systemtechnisch redundante Option
- Bei geeignetem Schlitzkabel und den entsprechend notwendigen Einspeisemaßnahmen, können andere Dienste, beispielsweise BOS, über dasselbe Kabel geführt werden
- Doppelversorgung und Redundanz der Schlitzkabel quasi als „Nebenprodukt“ eines robusten, qualitativ hochwertigen Funknetzes, Güte der Doppelversorgung ist abhängig von den elektrischen Eigenschaften des Schlitzkabels

Elektrisch weniger hochwertige Schlitzkabel, z. B. 7/8" Kabel (Option B1)

Keine oder nur partielle faktische Doppelversorgung mit Versorgungsgüte -95dBm@95% ohne zusätzliche BTS S-Schwabstraße

Elektrisch hochwertige Schlitzkabel mit $L_{max} \approx 3,1 \dots 3,5 \text{ dB}/100 \text{ m}$, $CL_{max} \approx 63 \dots 66 \text{ dB}$, 1 5/8" Kabel (Option B2)

Faktische Doppelversorgung mit Versorgungsgüte -95dBm@95% durch hinreichende Überlappung bei einer zusätzlichen BTS S-Schwabstraße auf der gesamten Stammstrecke sowie für den Bereich Mittnachtstraße – Bad Cannstatt. Es ist keine Einbringung weiterer aktiver Elemente (außer BTS S-Schwabstraße) erforderlich.

Allgemeine Hinweise zu Schlitzkabeloptionen

Die in der Bauproduktverordnung referenzierten Empfehlungen des ZVEI hinsichtlich den Brandschutzklassen und deren jeweilige Anwendungen sind zum Zeitpunkt dieser Studie in der Diskussion. Sowohl heute noch nicht marktfähige Schlitzkabel gemäß den höchsten Brandschutzanforderungen bei gegebenenfalls wesentlich reduzierten elektrischen Eigenschaften als auch eine Neueinstufung sind denkbar. Zum Zeitpunkt der Projektausführung sind die entsprechenden Ausführungsplanungen mit den dann zur Verfügung stehenden Produkten und Richtlinien in Einklang zu bringen.

Die der Studie zu Grunde liegenden Dimensionierungen basieren auf am Markt verfügbaren und von Herstellern empfohlenen Produkten der CPR-Klasse Cca s1a do a1. Wesentliche Änderung bzw. Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften erfordern eine Neuberechnung und -bewertung und können zusätzliche Verstärker erfordern bzw. eine reduzierte Versorgungsgüte zur Folge haben.

Mit der aktuellen seitens ZVEI / Bauverordnung empfohlenen höchsten Brandschutzklaasse ist nur die Option B1 mit punktuell einzelnen Verstärkern realisierbar.

Sollte zum Zeitpunkt der Projektrealisierung ein den dann gültigen Brandschutzklassen entsprechendes ultra-breitbandiges Kabel am Markt verfügbar sein, sollte in Hinblick auf die zusätzliche Sicherheit hinsichtlich FRMCS – Migration bzw. einer möglichen Mitbenutzung durch andere Funkdienste, ein solches realisiert werden.

Bewertung der Optionen

Eine prinzipielle Bewertung der skizzierten Optionen aus Entscheidungskriterien (Skala von 1 sehr schlecht bis 10 ausgezeichnet) bei entsprechender Gewichtung ergibt sich:

Tabelle 26: Bewertung möglicher Optionen – Funkversorgung Stammstrecke

Option A	Qualität und Robustheit	Kosten	Redundanz	Bewertung (Faktor 3-2-1)
A	3	5	2	21
B1	9	4	5	40
B2	10	3	9	45

2.2.3.2.3 Bereich S-Schwabstraße – S-Rohr

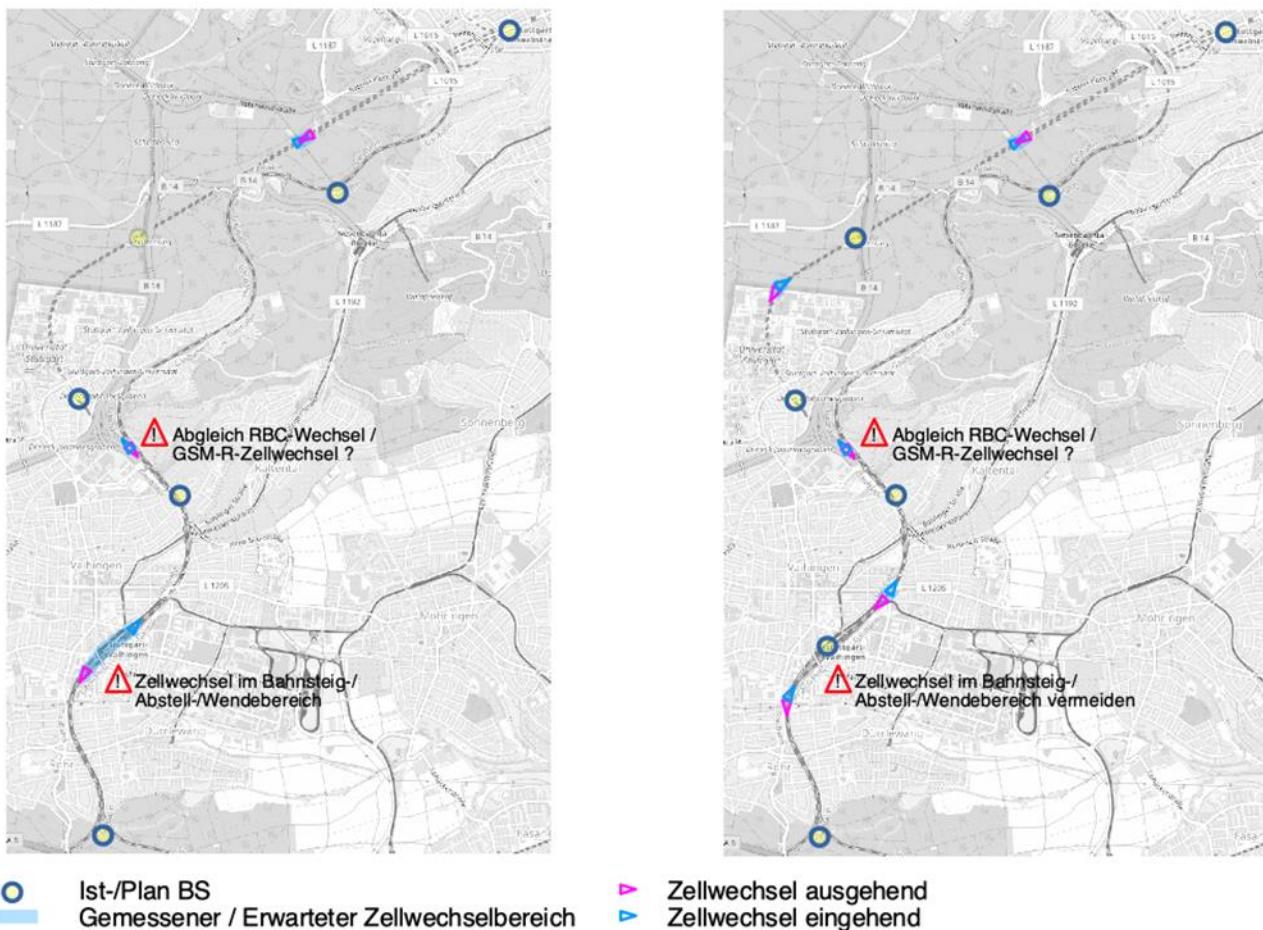


Abbildung 29: Funknetz Schwabstraße – Rohr (Ist- / Planstand links; Optimierungspotenzial rechts), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap

Ist-/ Planstand- Analyse

Es liegen Funkfeldmessungen für den gesamten Abschnitt vor. Diese zeigen:

- für ETCS L2 ausreichende Funkversorgungspegel außerhalb des Hasenbergtunnels überwiegend keine Mehrfachversorgung für die S-Bahn, Doppelversorgung auf der teilweise parallel geführten Panoramabahn
- einen Versorgungsbereich der heutigen BTS S-Universität (3,8 km) mittels Funkfeldverstärker in Richtung S-Schwabstraße
- für ETCS ausreichende Netzqualität nur im nördlichen Bereich des Bahnhofs S-Vaihingen
- keine ersichtlichen Hinweise auf externe Störer

Die Funkversorgung des Hasenbergtunnels ist gegenwärtig auf Basis der installierten, konventionellen Antennensysteme und eventuellem Tausch des Funkfeldverstärkers in eine BTS angedacht.

Die neu geplante BTS S-Rohrer Kurve gewährleistet allgemein einen für ETCS L2 ausreichenden Funkversorgungspegel im Bereich südlich des Bahnhofs S-Vaihingen. Die für ETCS sensiblen Halte-, Wende- und Abstellbereiche des Bahnhof S-Vaihingen fallen hierdurch bedingt jedoch in den Zellwechselbereich zur BTS S-Österfeld. Ein stabiles, für ETCS erforderliches, Netzverhalten wird allein durch Optimierung der relevanten Netzparameter als kritisch eingeschätzt.

Optimierungspotenziale

In Analogie und Kontinuität zur Stammstrecke sowie in Hinblick auf eine optionale, zukünftige Taktverdichtung, werden für den Hasenbergtunnel die äquivalenten Optionen der Stammstrecke empfohlen. Ein mögliches adaptiertes Versorgungskonzept für den Tunnelbereich Option B, zeigt Abbildung 30.

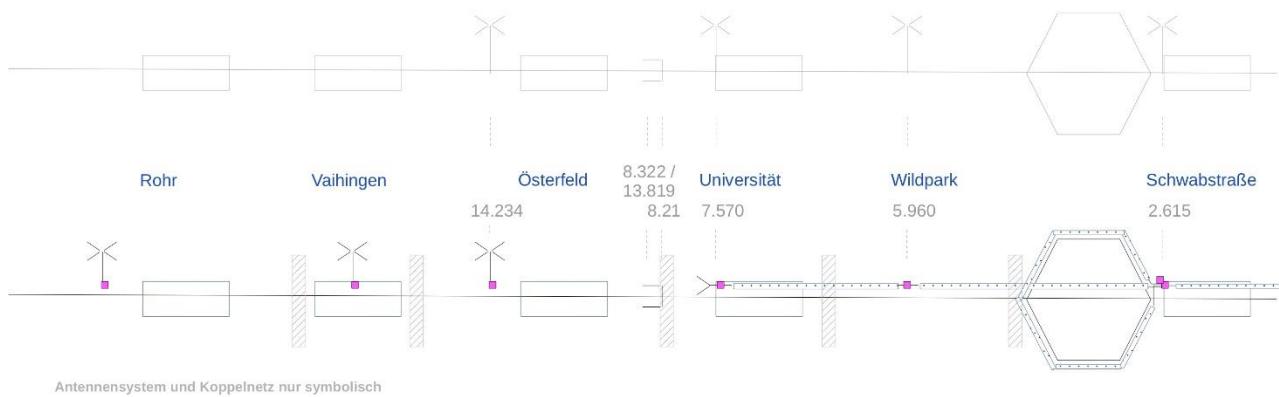


Abbildung 30: Optionales Versorgungskonzept S-Schwabstraße – S-Rohr (Option B im Tunnel analog Stammstrecke)

Eine zusätzliche BTS S-Wildpark bietet einen grundsätzlich höheren Funkversorgungspegel ohne zusätzliche Laufzeiten und eröffnet – bei entsprechender Doppelung analog zur Station S-Schwabstraße – die Option einer Versorgungsredundanz für den gesamten Tunnelbereich. Bedingt durch die räumliche Distanz Wildpark – Schwabstraße sind für eine Option B1 (elektrisch weniger hochwertiger Schlitzkabel) zusätzliche Verstärker einzuplanen.

Eine zusätzliche BTS S-Vaihingen mit ausschließlich auf den Bahnhofsgebiet S-Vaihingen zu beschränkender Funkversorgung wird auf Grund der für ETCS relevanten Qualitätsanforderungen empfohlen. Hierdurch fallen

mögliche Zellwechselpunkte in weniger kritische Streckenbereiche. Die BTS-Verdichtung harmonisiert überdies die Verkehrslasten und bietet Vorteile hinsichtlich der Frequenzplanung.

Aus Gründen der zukünftig reduzierten Verkehre auf der Panoramabahn sind aus frequenzplanerischen Aspekten die Anzahl der TRX der entsprechenden BTS auf jeweils 1 TRX zu reduzieren.

2.2.3.2.4 Bereich S-Rohr – Böblingen / Filderstadt (Südlicher Zulauf)

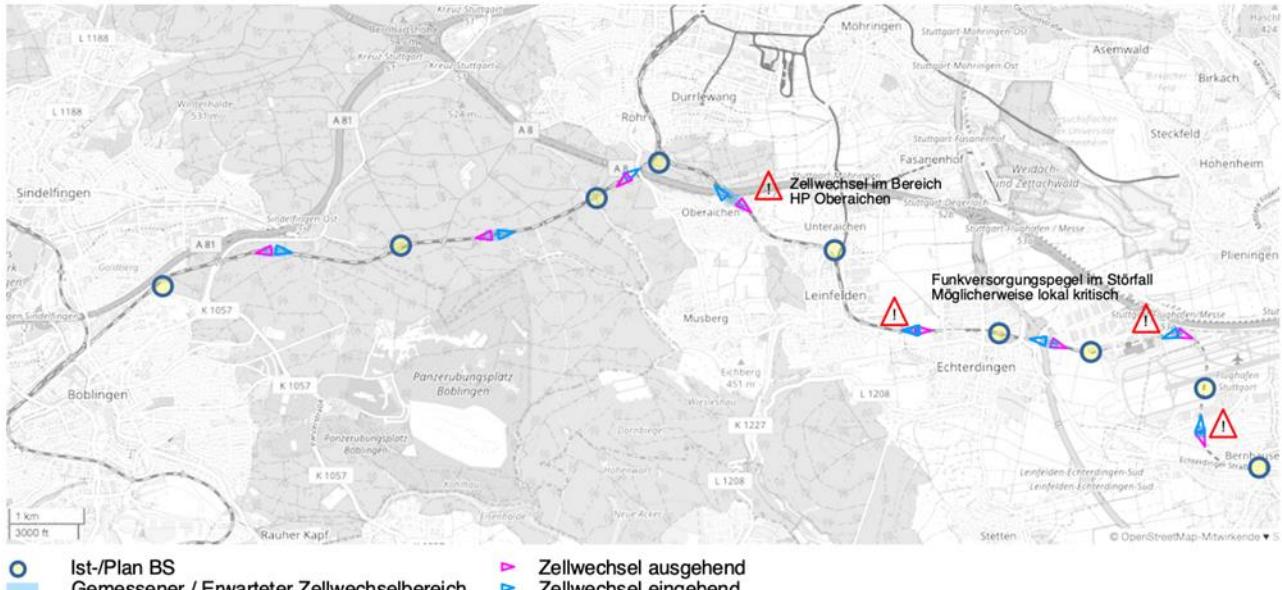


Abbildung 31: Funknetz Südlicher Zulauf (Ist- / Planstand bzw. Optimierungspotenzial), Quelle: Basisdaten: © OpenStreetMap

Ist-/ Planstand- Analyse

Es liegen Funkfeldmessungen für den gesamten Abschnitt vor. Diese zeigen:

- für ETCS L2 ausreichende Funkversorgungspegel außerhalb der Tunnelbereiche, insbesondere im Abschnitt Flughafen / Messe – Filderstadt jedoch lokal kritisch
- überwiegend keine Mehrfachversorgung im Abschnitt S-Rohr – Filderstadt, teilweise im Bereich S-Rohr – Böblingen
- stabile und nicht wesentlich richtungsabhängige Zellwechselbereiche
- keine ersichtlichen Hinweise auf externe Störer

Die im Rahmen des Projektes S21 neu projektierte BTS S-Rohrer Kurve verbessert die Funkversorgung und Netzqualität südlich des S-Rohr bis Leinfelden und harmonisiert die Versorgungsbereiche. Möglicherweise fällt hierdurch jedoch der Zellwechselbereich in den Bereich der Station S-Oberaichen.

Optimierungspotenziale

Auf Grund einer im Vergleich zur Stammstrecke wesentlich geringeren Streckenbelegung wird eine durchgängige Doppelversorgung für den Tunnel Flughafen gegenwärtig nicht als notwendig erachtet und daher gegenwärtig nicht empfohlen.

Der Tunnel Echterdingen (ca. 600 m) ist durch zwei konventionelle Antennen einseitig gemäß Messungen für den Normalbetrieb ausreichend versorgt. Im beidseitigen Störfall – ein Eintreffen auf Grund geringem Takt und Tunnellänge jedoch eher unwahrscheinlich - ist die Funkversorgung möglicherweise kritisch (Option: Schlitzkabel plus abgesetzte Antenne am Tunnelportal Richtung Leinfelden).

Der Tunnel Flughafen im Bereich Station Flughafen / Messe hat eine eingeschränkte Versorgungsreserve für Störfall. Eine Optimierung im Zusammenhang mit Versorgungskonzept Anbindung Fernbahn (4704) ist notwendig. Der Bereich Flughafen / Messe – Filderstadt ist hinsichtlich der Funkversorgungswahrscheinlichkeit für ETCS zu beobachten.

Es ist darauf zu achten, dass der Zellwechsel möglichst außerhalb der Station S-Oberaichen stattfindet.

2.2.4 Auswertung der Notwendigkeit und möglichen Redundanzen des GSM-R-Netzes

Zur Vermeidung von Betriebsbehinderungen erfordern die ETCS-Anlagen eine sehr hohe Verfügbarkeit und damit die Reduktion von potenziellen Ausfällen des GSM-R-Dienstes.

In Tabelle 27 sind die Anforderungen der DB Netz für GSM-R-Anlagen dargestellt, die im Dokument „Anforderung des europäischen Zugsicherungssystems ETCS an GSM-R“ DB Netz AG, I.NVT 32, 30.06.2014 V 1.8.1 beschrieben werden. Die hierin dargestellten Anforderungen werden für die S-Bahn Stuttgart – sofern nicht anderweitig in diesem Bericht dokumentiert – als ausreichend erachtet.

Tabelle 27: Anforderung der DB an die Zuverlässigkeit des GSM-R-Dienstes

Anlage	Loop-LWL	Ausfall in Minuten im Jahr [in Minuten gerundet]
Technik BTS	99,99874 %	6,6
Übertragungswege BTS	99,99810 %	10
Gesamt	99,99684 %	17

Die Darstellung der theoretischen zu erwartenden Verfügbarkeiten innerhalb des GSM-R-Netzes sind beschrieben im Dokument „Betrachtungen und Berechnungen zur theoretischen Verfügbarkeit im GSM-R-Netz“ V-1.6 vom 3.Juli 2017. Die wichtigsten Verfügbarkeitswerte für das Projekt Stuttgart Stammstrecke – mit Nokia-BTS und LWL-Loop-Anbindung – sind:

Tabelle 28: Verfügbarkeitswerte für GSM-R-Komponenten

Anlage – Nokia BTS Loop – LWL	Verfügbarkeit	Ausfall im Jahr [Minuten]
BSC	99,99998 %	0,1
TCU	99,99997 %	0,2
BTS (4 BTS in Loop, bezogen auf 2 BTS)	99,99874 %	7
ÜT 20 MUX	99,99790 %	11

Anlage – Nokia BTS Loop – LWL	Verfügbarkeit	Ausfall im Jahr [Minuten]
Loop 300 km LWL BTS-BSC-MGW-MSC	99,97000 %	158

Die in Tabelle 28 dargestellten Verfügbarkeitswerte zeigen, dass die BSS-Anlagen ausreichende Verfügbarkeit haben und die zu erwartende Jahresausfallzeit grundsätzlich sehr niedrig ist.

Eine Infrastruktur mit einer Ebene Netzelemente (1 Layer Single Coverage) und den obengenannten Verfügbarkeitswerten erscheint für das Projekt Stuttgart Stammstrecke grundsätzlich ausreichend und es ist technisch derzeit absehbar nicht notwendig eine zweite Ebene (2 Layer Double Coverage) aufzubauen. Diese wäre überdies mit sehr hohen Kosten verbunden und würde dann getrennte (voll redundante):

- Stromversorgungen
- LWL / Übertragungssysteme
- BSS
- Antennen / Antennensysteme

erfordern. Sollten die Verfügbarkeitswerte betrieblich oder technisch für nicht ausreichend erachtet werden, könnten den hohen Investitionsaufwendungen einer redundanten Auslegung eventuell die Mehrkosten einer verkürzten Reaktionszeit in einem SLA und vermiedene Ausfallzeiten gegenübergestellt werden um den wirtschaftlicheren Weg zu identifizieren.

Die Verfügbarkeit von Fremdsystemen z. B. den Dienst für ATO über private Netzwerke wird in Rahmen dieser Studie nicht betrachtet. Wenn sie genutzt werden sollen, dann sollte die zu erwartende Verfügbarkeit der Fremdsysteme in einer Untersuchung umfangreich betrachtet werden z. B. hinsichtlich Funkabdeckung, zugesagter Betreiberdienstverfügbarkeit, Anlagenverfügbarkeit und anderer Informationen, die gesammelt, ausgewertet und mit den Projekt- oder Applikationsforderungen verglichen werden müssen. Wenn große Abweichungen zwischen Dienstforderungen und Dienstverfügbarkeit identifiziert werden, dann wären andere Dienstleisterangebote zu bewerten oder auch Angebote zu Verbesserungsmaßnamen vorhandener Anbieter, um entscheiden zu können, was günstiger ist.

2.2.4.1 Definition möglicher Anlagenredundanzen

Redundanzen können in verschiedenen Komponenten und Ebenen in einem GSM-R-Netzwerk eingerichtet werden. Im Folgenden ist ein einfacher Überblick welche Redundanzen für das Projekt Stuttgart Stammstrecke grundsätzlich in Frage kommen.

Anlagenredundanzen – Passive Elemente

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
Schlitzkabel	Installation von zwei Schlitzkabeln	Doppelinvestition	Hoch	Nein	Mögliche Option für eingleisige Tunnelabschnitte, jedoch für S-Bahn Stuttgart nicht erforderlich
LWL-Kabel	Installation von zwei LWL-Kabeln (auf beiden Seiten einer Bahnstrecke)	Doppelinvestition	Hoch	Nein	Bei einer Doppel-Layer-Lösung wäre es notwendig eine LWL-Redundanz aufzubauen

Anlagenredundanzen – Aktive Elemente

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
GSM-R-Repeater	Einen zweiten Repeater installieren	Doppelinvestition	Hoch	Nein	
Optischer Repeater LWL/HF (wenn angezeigt)	Einen zweiten Repeater installieren	Doppelinvestition	Hoch	Nein	

Anlagenredundanzen – BTS-Level

Prinzip: in BTS ist es möglich, die einzelnen Teile von Anlagen zu doppeln oder redundant einzurichten.

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
TRX	N+1 möglich, bei der Stuttgarter S-Bahn wird eine 2+1 TRX Konfiguration vorgeschlagen	- TRX und - SW-Features - HF- HW-Wege	Relativ niedrig	Ja	NSN-Anlagen sind auf diese Redundanz HW- und SW-seitig vorbereitet
Radiomodul	1+1 möglich	- HW- und SW-Features	Relativ niedrig	Ja	NSN-Anlagen sind auf diese Redundanz HW- und SW-seitig vorbereitet
Systemmodul	1+1 möglich	- HW- und - SW-Features	Relativ niedrig	Ja	NSN-Anlagen sind auf diese Redundanz HW- und SW-seitig vorbereitet
Steuermodul	1+1 möglich	- HW- und - SW-Features	Relativ niedrig	Ja	NSN-Anlagen sind auf diese Redundanz HW- und SW-seitig vorbereitet
Rectifier Redundanz	1+1 möglich	- HW- und - SW-Features	Relativ niedrig	Ja	NSN-Anlagen sind auf diese Redundanz HW- und SW-seitig vorbereitet

Anlagenredundanzen – BSC-Level

Prinzip: in BSC ist es möglich, die einzelnen Teile von Anlagen zu doppeln oder redundant einzurichten.

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
BSC - redundante Komponenten	Übliche Anlageschaltung	Keine	Keine	Keine	Typische BSC-Anlage
BSC - vollständige Anlage Redundanz	BSC wie eine redundante Anlage	Mehr als Doppelinvestition, da die Übertragungswege erweitert werden müssen und auch ein neuer Raum beschafft und eingerichtet werden muss	Sehr hoch	Projekt Stuttgart Stammstrecke hat die Option, diese Redundanz zu schaffen zur Erhöhung der gemeinsamen Betriebssicherheit und Dienstverfügbarkeit	Unübliche Redundanz, Um-schaltung auf eine redundante BSC dauert Zeit (Entscheidung und dann zur Konfiguration der ÜT)
TRAU - redundante Komponenten	Übliche Anlageschaltung	Keine	Keine	Keine	Typische TRAU-Anlage
TRAU - totale Anlagenredundanz	TRAU als eine redundante Anlage	Mehr als Doppelinvestition, da die Übertragungswege erweitert werden müssen und auch ein neuer Raum beschafft und eingerichtet werden muss	Sehr hoch	Projekt Stuttgart Stammstrecke hat die Option, diese Redundanz zu schaffen zur Erhöhung der gemeinsamen Betriebssicherheit und Dienstverfügbarkeit	Unübliche Redundanz, Um-schaltung auf eine redundante BSC dauert Zeit (Entscheidung und dann zur Konfiguration der ÜT)

Anlagenredundanzen – Übertragungssystem (ÜS)

Prinzip: in ÜS ist es möglich, die einzelnen Teile von Anlagen zu doppeln oder redundant einzurichten. Die anlageninternen ÜS-Redundanzen sind hier nicht betrachtet.

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
Übertragungssystem PDH – zur BTS	Nicht möglich	Keine	Keine	Keine	Da keine PDH-Redundanz möglich ist, werden BTS von beiden Seiten zur BSC angebunden
Übertragungssystem SDH – Transportnetzwerk	Wird regelmäßig benutzt (Ringredundanz)	Keine	Keine	Keine	Wird direkt im GSM-R-Netz geregelt und eingerichtet

Anlageredundanzen auf Core-Network-Level (MSC-S, MGW, TRAU, GGSN*, SGSN*, SCP/IN, HLR) -Level

Als Prinzip gilt: Auch die Core Netzwerkelemente können in einzelnen Teilen der Anlagen gedoppelt oder redundant eingerichtet werden. Die internen Core Netzwerkelement-Redundanzen sind hier nicht zu betrachten, da sie Gegenstand der MSC-Planung sind. *

* – wird nur bei Nutzung von GPRS betrachtet

Anlageredundanzen - GSM-R-Abdeckung

Prinzip: Funkversorgung, die doppelt bzw. übergreifend ausgelegt ist

Element	Redundanz	Zusätzliche Investitionen	Kostensatz innerhalb des GSM-R-Systems	Empfehlung für die Nutzung in der Stuttgarter S-Bahn	Bemerkung
BTS am selben Standort	Redundante BTS werden an vorhandenen Standorten aufgebaut, jedoch an eine andere BSC angebunden (2 Layer Double Coverage)	<ul style="list-style-type: none"> - BTS - ÜT-Kapazität zur anderen BSC - HF- HW-Wege <p>Stromversorgung</p>	Sehr hoch	Ist als Option möglich	Der Frequenzplan würde die Option nur in Tunnelbereichen erlauben zu nutzen
BTS versetzt bzw. Funkversorgung übergreifend ausgelegt	Die zusätzliche, redundante BTS ist jeweils versetzt um die Haupt BTS an einem anderen Standort aufgebaut. Die Funkversorgung gewährleistet bei Ausfall einer BTS die durchgängige Versorgung durch die jeweils benachbarten BTsn mit der erforderlichen Versorgungsgüte	<ul style="list-style-type: none"> - Gesamte BTS Infrastruktur inklusive: - LWL - ÜT-Wege zum BSC - Stromversorgung <p>BTsn in geringerem Abstand mit höherem Planungsaufwand</p>	Sehr hoch	Als Option auf der Stammstrecke möglich	Bei Einsatz von Schlitzkabeln geringer Dämpfung auf Grund spezifischer Gegebenheiten ausschließlich auf der Stammstrecke möglich

Die allgemeine Verfügbarkeit kann auch durch folgende Maßnahmen erhöht werden:

- Erhöhen der Backupzeit BTS (Batterie)
- Bei Weiternutzung vorhandener Anlagen ist die Verfügbarkeit manchmal reduziert durch Alterung von Stoffen z. B. bei Kabeln, Antennen, Stromversorgung usw. Diese Alterung ist zu bewerten und verdächtige Anlagen und Teilanlagen zu tauschen.
- Reduzierte Reaktionszeiten in SLA-Vereinbarungen und gesamten Regelungen des SLAs zur Entstörung/Reaktionszeiten/Ersatzteilvorhaltung und -behandlung von GSM-R für die S-Bahn könnten revidiert und verbessert werden.

2.2.5 Reaktionen des GSM-R-Netzes in verschiedenen Ausfallszenarien

Ein beispielhafter Netzwerkaufbau soll die anschließende Darstellung potenzieller Ausfallszenarien und Reaktionen darauf erläutern.

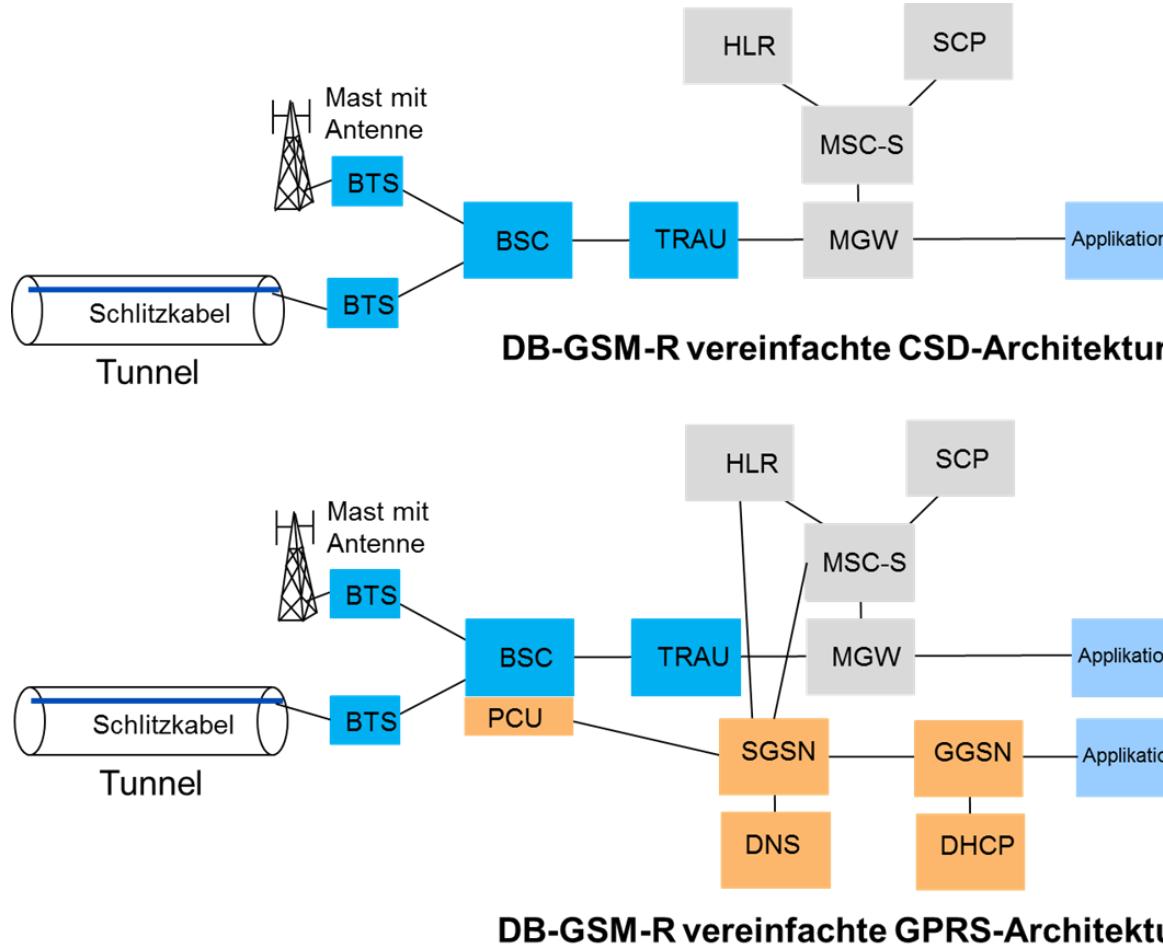


Abbildung 32: Vereinfachte Darstellung der GSM-R-Architektur zur Verdeutlichung der Reaktionen des Netzes in Ausfallszenarien

In Tabelle 29 bis Tabelle 33 werden verschiedene Ausfallszenarien beschrieben.

2.2.5.1 Definition möglicher Ausfallszenarien

(Fehlerbewertung: ***sehr schwer, ** mittele Fehler, *leicht,- kein Einfluss)

Tabelle 29: Definition möglicher Ausfallszenarien – passive Elemente

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
Schlitzkabel	Kurzschluss	Signaldegradation oder Signalpegelminderung	Schlitzkabel-Reparatur oder Schlitzkabelsegment austauschen	Im Tunnel vorsichtig arbeiten, entsprechende HF-Schlitzkabel mit Konnektoren im Ersatzteillager vorrätig halten	**
Schlitzkabel	Unterbrechung	Hinter der Unterbrechung wird das Signal nicht weiter verbreitet	Schlitzkabelsegment austauschen	Im Tunnel vorsichtig arbeiten, entsprechende HF-Schlitzkabel mit Konnektoren im Ersatzteillager vorrätig halten, Beidseitige Einspeisung empfohlen	**/***
HF-Combiner	Fehler	Das Signal wird nicht richtig verteilt oder verknüpft	HF-Combiner Teilaustausch	Entsprechende HF-Combiner im Ersatzteillager vorrätig halten	**
HF-Konnektor	Kurzschluss	Signaldegradation oder Signalpegelminderung	HF-Konnektor Teilaustausch	Entsprechende HF-Konnektoren im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***
HF-Konnektor	Unterbrechung	Hinter der Unterbrechung wird das Signal nicht weiter verbreitet	HF-Konnektor Teilaustausch	Entsprechende HF-Konnektoren im Ersatzteillager vorrätig halten	**
Antennenkabel	Kurzschluss	Signaldegradation oder Signalpegelminderung	Reparatur Antennenkabel	Entsprechende Menge Antennenkabel im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***
Antennenkabel	Unterbrechung	Hinter der Unterbrechung wird das Signal nicht weiterverbreitet.	Antenne Kabel austauschen	Entsprechende Menge Antennenkabel im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
Antenne	Fehler	Das Signal wird nicht oder nicht richtig verbreitet	Teilaustausch	Entsprechende Antenne im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***
LWL-Kabel	Unterbrechung des Lichtleiters	Die Verbindung ist degradiert oder vollständig unterbrochen	Umschaltung auf Reservelichtleiter oder Reparatur von LWL	Entsprechende Menge LWL-Kabel im Ersatzteillager vorrätig halten, redundant installierter Reservelichtleiter aus Kosteneinsparung nicht empfohlen	**/***

Tabelle 30: Definition möglicher Ausfallszenarien – aktive Elemente

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
GSM-R-Repeater (wenn eingesetzt)	Fehler	Hinter der Unterbrechung wird das Signal nicht aktiv weiterverbreitet	Teilaustausch	Entsprechende GSM-R Repeater im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***
Optischer Repeater LWL / HF (wenn eingesetzt)	Fehler	Hinter der Unterbrechung wird das Signal nicht aktiv weiterverbreitet	Teilaustausch	Entsprechende Optische Repeater im Ersatzteillager vorrätig halten	**/***

Tabelle 31: Definition möglicher Ausfallszenarien – BTS-Level

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
BTS-Stromversorgung	Stromversorgung ist ausgefallen oder Kabel unterbrochen	BTS läuft auf Batterien	Stromversorgung wiederherstellen, Kabel reparieren, in der Zwischenzeit Notaggregat nutzen	Die BTS-Stromversorgung richtig dimensionieren und an entsprechende Qualitätsquelle anbinden	***
BTS-Batterie	Reservestromversorgung ist ausgefallen und die Batterien stehen nicht zur Verfügung	Entsprechende Abdeckung steht ggf. nicht zur Verfügung	Notaggregat nutzen, Stromversorgung reparieren	Batterie sorgfältig warten und rechtzeitig ersetzen	*
TRX	Ausfall von TRX wird signalisiert	Kapazitätsminderung im Versorgungsbereich der BTS	TRX reparieren	TRX-Redundanz ist zu nutzen (Konfiguration 2+1)	**
Übertragungssystem	Keine Verbindung zu einzelner BTS möglich	Die BTS-Ringstruktur ist unterbrochen, Kein GSM-R-Service im Versorgungsbereich der BTS	Übertragungssystem reparieren	Es ist eine Ringstruktur zu nutzen, Übertragungssystem HW im Ersatzteilager vorrätig halten	***
BTS-Ausfall	Keine Verbindung zu einzelner BTS möglich	Ggf. kein GSM-R-Service im Versorgungsbereich der BTS, Verbindung nur über national Roaming möglich	BTS reparieren	Alle möglichen internen Redundanzen nutzen - Radiomodul, Systemmodul, Steuermodul und Rectifier Redundanz; Option B2 wählen	**/***
BTS-Teilausfall (redundanter Komponentenfehler wird signalisiert)	Redundanter Komponentenausfall	keine Auswirkung	BTS reparieren	Siehe oben welche Teile das betrifft, so schnell wie möglich die weiteren, nicht redundanten Komponenten wechseln	*

Tabelle 32: Definition möglicher Ausfallszenarien – BSC-Level

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
BSC-Totalausfall	Fehler, der die BSC total außer Betrieb setzt und durch den der Service nicht zu Verfügung steht	Die BTSn im BSC-Bereich sind nicht erreichbar, kein GSM-R-Service, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	BSC reparieren	Siehe Redundanzkonzept BSC. Es ist zu überlegen ob eine Ersatz-BSC beschafft wird, Strategie vorbereiten, eine so wichtige GSM-R-Komponente im Notfall ersetzen zu können	***
BSC-Teilausfall (redundanter Komponentenfehler wird signalisiert)	redundanter Komponentenausfall	keine Auswirkung	BSC reparieren	So schnell wie möglich die weiteren, nicht redundanten Komponenten tauschen	-
Übertragungssystem – Totalausfall	Keine Verbindung zu BTSn im BSC- Bereich möglich	Die BSC-Anbindung ist unterbrochen, BTSn in entsprechendem Bereich sind nicht zu Verfügung	Übertragungssystem reparieren	siehe Redundanzkonzept	***
Übertragungssystem - Teilausfall (redundanter Komponentenfehler wird signalisiert)	redundanter Komponentenausfall	keine Auswirkung	Übertragungssystem reparieren	So schnell wie möglich die weiteren, nicht redundanten Komponenten tauschen	-
TCU	kein GPRS; keine Verbindung zu BTSn im BSC-Bereich möglich	Die BTS in BSC-Bereich haben keine GPRS-Verbindung zur Verfügung	TCU reparieren	Entsprechende TCU-Komponente im Ersatzteillager vorrätig halten	***

Tabelle 33: Definition möglicher Ausfallszenarien – Core Netzwerk (MSC-S, MGW, TRAU, GGSN*), SGSN*), SCP/IN, HLR) -Level

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
MSC-S/VLR (in GSM-R-Netzwerk in 1+1 Konfiguration)	MSC-S/VLR-Ausfall oder nicht erreichbar	In Netzwerk wird automatisch auf Ersatz-MSC-S/VLR umgeschaltet, die bestehenden Rufe werden unterbrochen und müssen neu aufgebaut werden.	MSC-S/VLR reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	-
MGW (Media Gateway)	MGW-Ausfall oder nicht erreichbar	In Netzwerk wird automatisch auf Ersatz-MGW umgeschaltet, bestehende Rufe werden unterbrochen, notwendig alle neu anzuwählen	MGW reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	-
TRAU – Totalausfall	TRAU-Ausfall oder nicht erreichbar	Die BTS sind im TRAU-Bereich nicht erreichbar, keine GSM-R Abdeckung zur Verfügung, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	TRAU reparieren	Es wird empfohlen eine Ersatz-TRAU zu beschaffen und vorzuhalten. Strategie vorbereiten, eine so wichtige GSM-R Komponente im Notfall ersetzen zu können	***
GGSN*) (im GSM-R-Netzwerk 1+1 Konfiguration)	Ausfall der Komponente GGSN	Redundante GGSN wird benutzt	GGSN reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	-
SGSN*) (im GSM-R-Netzwerk 1+1 Konfiguration)	Ausfall der Komponente SGSN	Redundante SGSN wird benutzt	SGSN reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	-
SCP/IN (im GSM-R-Netzwerk in hochverfügbarer Konfiguration)	SCP/IN Ausfall oder nicht erreichbar	In Netzwerk sind keine funktionalen Rufe möglich.	SCP/IN reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	***

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
HLR	HLR-Ausfall oder nicht erreichbar, redundante HLR wird benutzt	Keine Auswirkung	HLR reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	-

2.2.5.2 Ausfallszenarien basierend auf dem Ausfall von Systemen

Tabelle 34: Ausfallszenarien basierend auf dem Ausfall von Systemen

System	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
Übertragungssystem Bereichsausfall	Keine BSS-Elemente erreichbar	Kein GSM-R-Dienst steht zu Verfügung, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	Übertragungssystem reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	***
BSS-System Bereichsausfall	Keine BSS-Elemente erreichbar	Kein GSM-R-Dienst steht zu Verfügung, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	BSS reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	***
Core Netzwerk (Totalausfall)	Kein GSM-R-Netzwerk erreichbar	Keine GSM-R-Sprachfunk möglich, auch keine Verbindung über national Roaming möglich	Core Netzwerk reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	***
GPRS*) (PS)	Kein GPRS-Dienst erreichbar	Keine GPRS-Verbindung möglich	GPRS reparieren	Im Projekt S-Bahn Stuttgart wird dieser Fehler nicht behandelt	***

System	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
BTS-Ringstruktur einfache Unterbrechung	Unterbrechung von Übertragung an eine Ringstrukturseite	Teil der BTSn werden über Regelweg an BSC angebunden, Teil der BTSn werden über Ersatzweg an BSC angebunden	BTS-Ringstruktur reparieren	Entsprechende Teile und Komponente für Reparatur im Ersatzteilager vorrätig halten	**
BTS-Ringstruktur mehrfache Unterbrechung	Unterbrechung von Übertragung an mehreren Ringstrukturstellen	Teil der BTSn werden über Regelweg an BSC angebunden, Teil der BTSn werden über Ersatzweg an BSC angebunden. Es könnte passieren, dass irgendwelche BTSn als Insel ohne Verbindung zur BSC bleiben	BTS-Ringstruktur reparieren	Entsprechende Teile und Komponente für Reparatur im Ersatzteilager vorrätig halten	***
Schlitzkabelsystem Unterbrechung	Unterbrechung von Schlitzkabelsystem an mehreren Stellen	Wesentliche Teile vom Schlitzkabelsystem sind beschädigt, keine kontinuierliche GSM-R Abdeckung steht zu Verfügung	Schlitzkabelsystem reparieren	entsprechende Teile und Komponente für Reparatur im Ersatzteilager vorrätig halten	**/***

2.2.5.3 Mögliche Fehler verursacht durch menschlichen Faktor

Tabelle 35: Ausfallszenarien – mögliche Fehler verursacht durch menschlichen Faktor

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
BSS – Einspielen von falscher Konfiguration	betrifft BSS-Bereich	Die BTSn im BSC-Bereich sind nicht erreichbar, kein GSM-R-Service, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	Rückkehr zur Rückfallebene / Einspielen der richtigen Konfiguration	Einführen eines garantierten Prozesses, welcher den genannten Fehler nicht zulässt (mehrfache Kontrolle und Überprüfungen)	***

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt S-Bahn Stuttgart Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
BSS – Einspielen von falscher SW	betrifft BSS-Bereich	Die BTSn im BSC-Bereich sind nicht erreichbar, kein GSM-R-Service, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	Rückkehr zur Rückfall-ebene / Einspielen der richtigen Software	Einführen eines garantiierten Prozesses, welcher den genannten Fehler nicht zulässt (mehrreiche Kontrolle und Überprüfungen)	***
Übertragungssystem - Einspielen von falscher Konfiguration	betrifft BSS Übertragungssystem Bereich	Die BTSn im BSC Bereich sind nicht erreichbar, kein GSM-R-Service, Sprachfunk nur über national Roaming möglich	Rückkehr zur Rückfall-ebene / Einspielen von richtiger Konfiguration	Einführen eines garantiierten Prozesses, welche den genannten Fehler nicht zulässt (mehrreiche Kontrolle und Überprüfungen)	***
GPRS*) (PS) einspielen von falscher Konfiguration	Betrifft GPRS Dienste	Keine GPRS-Verbindung möglich	Rückkehr zur Rückfall-ebene / Einspielen von richtiger Konfiguration	Einführen eines garantiierten Prozesses, welcher den genannten Fehler nicht zulässt (mehrreiche Kontrolle und Überprüfungen)	***

*) – wird nur bei Nutzung von GPRS betrachtet

2.2.6 Optionen möglicher Funkzugangstechnologien für ATO

Die S-Bahn Stuttgart beabsichtigt auf Basis eines ETCS-L2-Systems die Triebfahrzeugführerunterstützung mittels ATO (in den Szenarien ATO-Light und ATO/TMS, siehe Kapitel 2.4.2) auf der Stammstrecke und den zugehörigen S-Bahn Linien einzuführen.

ETCS L2 nutzt GSM-R mit Circuit Switched Data. Die vorgesehene GSM-R-Netzwerk- und Frequenzkapazität ermöglicht die Nutzung von ETCS L2. Derzeit ist bis zu einer möglichen Inbetriebnahme von ATO im DB Schienennetz keine paketorientierte Technologie wie GPRS oder EDGE vorgesehen. Ebenso ist für die ersten ATO-Betriebsjahre bis zu einem GSM-R-Upgrade auf das nachfolgende, bahnbetriebliche Funksystem FRMCS kein paketorientierter Funk vorgesehen.

Jedoch erfordert ATO auf Grund seiner Funktionalität und den Schnittstellenspezifikationen eine volle paketorientierte Verbindung.

2.2.6.1 Vergleich möglicher Funkzugangstechnologien

Im Rahmen der Studie werden fünf mögliche Lösungen betrachtet und bewertet. Notwendige FRMCS-Betrachtungen erfolgen auf Basis des heutigen Kenntnisstandes.

Bis zu einer möglichen Inbetriebnahme von ATO bei der S-Bahn Stuttgart ist die 3G/HSDPA-Technologie weitgehend veraltet, 3G wird dann aller Wahrscheinlichkeit nach ebenfalls nicht mehr unterstützt. Eine Bewertung 3G/HSDPA erfolgt daher nicht. Es werden die nachfolgenden Technologien betrachtet, da zu erwarten ist, dass diese Dienste im relevanten Zeitraum noch oder schon zu Verfügung stehen:

- Das vorhandene GSM-R-System mit einer GPRS-Hochrüstung
- LTE(-A) privater Betreiber – vergleichbar einem paketvermittelten Breitbanddienst im Wirkbetrieb bei privaten Mobilfunkbetreibern
- 5G privater Betreiber mit paketvermitteltem Breitbanddienst bei wahrscheinlich schnellerer Einführung als FRMCS für Bahnen
- FRMCS basierend auf der 5G-Spezifikation mit zusätzlicher UIC – Bahnspezifikation. Referenztechnologie für die Studie, auf die alle Hochrüstungen zielen
- DB WLAN diskreter Dienst auf den S-Bahn-Stationen oder Wendebereichen
- WLAN über (vorhandene) S-Bahn-Fahrzeugeinheiten mit Anbindung über LTE(-A) an Private Betreiber

Allgemeiner Vergleich der Technologien:

Technologiegeneration	2,5 G	LTE(-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN/LTE	Kommentar
Entwicklungsjahr	2000	2012	2020	2022	N/A	N/A	
Bahndienste	GSM-R	FRMCS Kandidat	FRMCS Hauptkandidat	FRMCS	W-LAN	W-LAN über LTE Router	
Frequenzband	450 MHz - 2,1 GHz, lizenziert	400 MHz – 3,7 GHz, lizenziert	400 MHz – 3,7 GHz, lizenziert und offen	400 MHz – 3,7 GHz, lizenziert und offen	2,4 GHz, 5GHz offen	2,4 GHz, 5GHz offen / LTE	
Bahninfrastruktur Abdeckung	Kontinuierlich bahninternes Netzwerk	Kontinuierlich privates Netzwerk	Kontinuierlich privates Netzwerk	Kontinuierlich bahninternes Netzwerk	Bahn Hot Spots	Kontinuierlich privates Netzwerk	
Kanalbandbreite	200 kHz	Min 1,4 MHz bis 20 MHz	Min 1,4 MHz bis ~100 MHz	Min 1,4 MHz bis ~100 MHz	14x5 MHz (2,4)	14x5 MHz (2,4)/LTE	LTE(-A) Bänder 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
Standard	CEPT, ETSI, TIA	3GPP&IEEE	3GPP-5G	3GPP-5G, UIC	IEEE – 802.11	IEEE – 802.11<E	
Duplex Schema		FDD and TDD	FDD and TDD	FDD and TDD			
Datenraten	Bis 64 kbit/s (230 kbit/s)	Bis zu 100 Mbit/s (1 Gbit)	10 Gbit/s	10 Gbit/s	IEEE 802.11ad 7Gbit	IEEE 802.11ad 7Gbit & LTE	
Typische Nutzerdatenraten	<= 64 kbit/s (200 kbit/s)	<= 30 Mbit/s (<= 100 Mbit/s)	<= 500 Mbit/s / später 5 Gbit/s	<= 500 Mbit/s / später 5 Gbit/s	<= 500 Mbit/s 2.4 Gbit, 11 Mbit/s 5 Gbit	Für LTE: <= 30 Mbit/s (<= 100 Mbit/s)	
Dienste	Digital Voice, Digital Data (IP)	IP	IP	IP	IP	IP	
Multiplexing	TDMA/FDMA	OFDMA/SC-FDMA	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	

Technologiegeneration	2,5 G	LTE(-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN/LTE	Kommentar
Vermittlung	Voice – CS, Data – PS	PS	PS	PS	PS	PS	
Latency	~300 ms	~50 (~10 ms) ms	~1 ms	~1 ms	WiFi First-Hop 35 ms (2,4) 2 ms (5)	35ms und ~50 ms (~10 ms)	
Idle to active		<100ms (<50ms)	<1ms	<1ms	N/A	LTE <100ms	
Mobility	<250 km/h (GSM-R 500 km/h)	<=350 km/h	<=500 km/h	<=500 km/h	N/A	<=350 km/h	LTE(-A) <= 500 km/h, Frequenzband abhängig
Antenne MIMO	Keine	Ja (2x2)	Ja (4x4)	Ja (4x4)	Ja	Ja	
Aktive Nutzer in eine Zelle 5-MHz-Bandbreite	N/A	~200 (~600)	N/A	N/A	N/A	N/A	
Entwicklungsstand	veraltet	in Betrieb	in Entwicklung	in Entwicklung	in Betrieb	in Betrieb	
Netzwerkplanung	Abdeckung und Frequenz	Überwiegend nur Abdeckung	Überwiegend nur Abdeckung	Überwiegend nur Abdeckung	Abdeckung	Abdeckung / überwiegend nur Abdeckung	
Netzwerkosten für DB	Hochrüstung GPRS	kleine	gering	sehr hoch	gering	gering	
Endgerätekosten für ATO	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	hoch	

Vergleich nur bahnspezifischer Technologien:

Bahnbetriebsfunk Technologiegeneration	GSM-R	FRMCS	Kommentar
Abschluss Spezifikation	2000	2022	FRMCS wird z.Zt. bei UIC/ERA/usw. spezifiziert
Basisspezifikation	GSM-ETSI-Spezifikation	Wahrscheinlich 3GPP-5G	FRMCS derzeit in Diskussion ob auf Basis von LTE oder 5G
Frequenzband	900 MHz UIC, E-UIC, auch mögliche Nutzung GSM-P, GSM-E	Möglicherweise in 900 MHz GSM-R, E-GSM-R	Das FRMCS-Band wird derzeit bei CEPT festgelegt
Kanalbandbreite	200 kHz	Min 1,4 MHz bis ~100 MHz	Bei FRMCS abhängig vom zugewiesenen Band
Standard	CEPT, ETSI, TIA	3GPP-5G	
Datenraten	bis 64 kbit/s (230 kbit/s)	bis zu ~10 Gbit/s (abhängig von verfügbarem Band)	
Typische Nutzerdatenraten	bis 64 kbit/s (200 kbit/s)	bis zu 500 Mbit/s / später 5 Gbit/s (abhängig von verfügbarem Band)	
Bahnstandard	EIRENE SRS und FRS, MORANE, ETSI,	UIC – FRMCS URS, weitere Dokumente in Entwicklung	
Dienste	Digital Voice, CS und PS Data	IP mit allen Diensten	
Multiplexing	TDMA/FDMA	OFDMA	
Switching	Voice – CS, Data – PS	PS	

Bahnbetriebsfunk Technologiegeneration	GSM-R	FRMCS	Kommentar
Latency	Je nach Dienst, auch bis 300 ms	<1 ms	
Mobility	250 km/h (GSM-R 500 km/h)	500 km/h	
Antenne MIMO	Keine	Ja (2x2)	
Security	Laut GSM ETSI Spez.	Laut Erweiterte 5G Spez.	
Entwicklungsstand	veraltet	in Betrieb	
Netzwerkplanung	Abdeckung und Frequenz	Überwiegend nur Abdeckung	Bei 5G überwiegend keine Kapazitätsplanung
Netzwerkosten	sehr hoch	sehr hoch	
Endgerätekosten	hoch	hoch	

CEPT - <https://cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-56/client/introduction/>, FRMCS URS – User Requirements Specification

Die einzelnen Funkzugangstechnologien werden in Hinblick auf einen temporären und finalen Einsatz bewertet. Bewertung und Beschreibung sind in dieser Studie vereinfacht in Hinblick auf Nutzung und Inhalt.

Die Schnittstelle für die GSM-R-Funkanbindung ist für ATO als eine reine GPRS-Technologieanbindung mit allen GPRS-Befehlen spezifiziert. Einige in dieser Studie betrachtende Technologien werden direkt oder indirekt über IP an die ATO-Applikation angebunden. Eine Anpassung der ATO-Applikation auf Grund dieser nicht spezifizierten Teile ist daher notwendig. Gegenwärtig steht nur die GPRS-Schnittstellenbeschreibung als Subset 126 Appendix A zur Verfügung. Es ist zu erwarten, dass bis zur Implementierung der ATO-Anwendungen noch weitere Schnittstellenbeschreibungen über den derzeitigen Stand im Subset 126 Appendix A hinaus spezifiziert sein werden. Hier können dann auch andere Übertragungstechnologien wie z. B. LTE- oder FRMCS-Anbindung oder auch eine direkte IP-Anbindung vorgesehen sein.

Nach heutigem Kenntnisstand wird bis zur Umrüstung auf die nächste Mobilfunkgeneration FRMCS, die Technologie GPRS/EDGE im DB GSM-R-Netzwerk nicht installiert und zur Verfügung stehen. FRMCS sollte auf Basis 5G aufgesetzt und vollständig paketvermittelte Dienste zur Verfügung stellen.

Die Spezifikation der ATO-Kommunikationsschnittstellen ist zumindest derzeit ausschließlich für GPRS/EDGE definiert und spezifiziert. Das UNISIG-Dokument beschreibt genau formulierte Befehle, Nutzung und Prozeduren für die spezifische GPRS-Technologie, die zu implementieren und nutzen ist. Für die Migration zu FRMCS muss eine neue Schnittstellenspezifikation geschrieben werden, die der neuen Technologie Rechnung trägt.

Zur Nutzung von LTE, LTE-A und 5G ist eine Anpassung der Schnittstellenspezifikation notwendig, da die Geräte spezifikationsseitig eine andere Bedienung unter GPRS/EDGE erfordern. Eine direkte LAN/WAN/Ethernet IP-Anbindung der ATO-Fahrzeugapplikation zur Festnetzapplikation erfordert eine Anpassung der Schnittstellenspezifikation ohne Öffnung aller Netzwerkschichten und -verbindungen sowie der Kommunikationsschichten.

Bei Implementierung einer temporären Kommunikationslösung ist nicht ausgeschlossen, die ATO-Applikationsanpassungen zweimal durchführen zu müssen, zunächst für die Erstimplementierung der temporären ATO-Übertragungslösung, anschließend für die Migration zur finalen Lösung.

ATO-Schnittstelle: Standardisierung und kurze Schnittstellenbeschreibung

Die jetzige ATO-Schnittstellenbeschreibung ist festgelegt und seitens der UNISIG-Organisation, verantwortlich für die ATO-Spezifikation, bestätigt. Eine ATO-Schnittstellenspezifikation wird wie eine Netzwerkbaisspezifikation EIRENE SRS und FRS, Morane und andere ETCS-Spezifikationen aufgebaut und reguliert in vergleichbarer Art dieser Dokumente.

Die zukünftige FRMCS-Schnittstellenbeschreibung wird ebenfalls durch UNISIG festgeschrieben und bestätigt. Hierzu muss eine vorausgehende neue FRMCS-Systemspezifikation SRS und FRS mit allen zugehörigen Sub-Spezifikationen, vergleichbar den Morane-Spezifikationen für GSM-R, auf die der FRMCS-Technologie anzupassende ETCS-Spezifikation angepasst werden.

Für eine direkte ATO-Applikationsanbindung über LAN/WAN/Ethernet muss eine temporäre Schnittstellen-Spezifikation entwickelt werden. Die ATO-Applikationslieferanten können dann aufgrund einer angepassten ATO-Applikationsspezifikation entwickeln, testen und in Betrieb nehmen.

Die Erstinstallation einer temporären Lösung sowie die Migration zur finalen Lösung wird den Bahnbetrieb stark beeinflussen. Migrationskonzepte und zugehörigen Spezifikationen müssen daher rechtzeitig vorbereitet und abstimmt werden.

Funkübertragung für die ATO-Funktionalitäten

Entsprechend der gewählten Funkzugangslösung werden ATO-Daten entweder kontinuierlich oder diskret übertragen.

Bei Nutzung der W-LAN-Technologie erfolgt eine initiale, diskrete Übertragung im Depot zur Übertragung des Segment Profile. Die Übertragung von Fahrplandaten (Journey Profile) erfolgt vor Beginn der Fahrt.

Erfolgt die Datenübertragung in der Variante über private Mobilfunkbetreiber, so ist die Funkabdeckung für das S-Bahn-Netz nicht vollständig garantiert und damit nicht kontinuierlich. Die Varianten hierbei sind LTE(+A), 5G-Privatdienst sowie W-LAN-Anbindung über S-Bahn-Fahrzeug-Router mit Anbindung über private LTE-Mobilfunkdienste.

Garantierte kontinuierliche Datenübertragung erfolgt hingegen entweder in einem aufzubauenden GSM-R-GPRS-System oder bei späterer Nutzung von FRMCS-Diensten, welche nur für Bahnen und deren Strecken definiert und gebaut werden. Das FRMCS-Netzwerk sollte nach heutige Wissenstand auf der 5G-Technologie aufbauen.

Die Varianten mit diskreten Datenübertragungen erlauben den Betrieb von ATO-Light, die kontinuierlichen Datenübertragungen erlauben vollständigen ATO-Einsatz bei der S-Bahn Stuttgart.

Migration zu FRMCS

Das heutige DB GSM-R-Netz ermöglicht Dienste auf Basis von UIC EIRENE SRS- und FRS-Spezifikationen, unterstützt durch die Morane-Spezifikation, und auf Basis weiterer Spezifikationen. Alle diese Spezifikationen definieren verbindungsorientierte Sprach- und Datendienste.

Bahnbetriebliche Netze, die auf FRMCS paketvermittelten Sprache und Daten setzen, müssen, basierend auf der weiteren Entwicklung von EIRENE SRS und FRS sowie fortzuführenden Entwicklungen der Bahnforderungen, auf die neue Spezifikation SRS, FRS undUSR (User Requirements Specification) für Technologie und Technologienutzung angepasst werden.

Ferner müssen alle ETCS-Spezifikationen der Übertragungsschnittstellen auf die neue FRMCS-Technologie angepasst werden. Die ATO-Technologiespezifikation muss insgesamt für eine neue Telekommunikationstechnologie angepasst werden. Alle möglichen Migrationsarten sind daher vollständig von den neuen Spezifikationen abhängig. Beispielsweise könnte eine Spezifikation der Mobilgeräte, die das gleichzeitige Betreiben von GSM-R und FRMCS in einem nahezu selben UIC-Band 900 MHz (UIC-Band und E-UIC-Band) ermöglichen, die Migration wesentlich erleichtern und verbilligen. Heute sind nur UIC allgemeine Migrationsstudien bekannt. Die allgemeine technische FRMCS-Systemspezifikation steht noch am Anfang und wird nicht vor 2022 zur Verfügung stehen. Die genauen technischen und technologischen Forderungen sowie die Lösung einer Migration sind noch in allgemeinem Status.

Für eine Migration zu FRMCS sind noch zahlreiche Teilschritte zu erfüllen. FRMCS ist derzeit in Definition und Entwicklung. Die Schritte sind folgende:

- **Funktionale und technische Anforderungen**, welche die Nutzung und den möglichen Einsatz bei Bahnen definieren. Anforderungen an Nutzung sollten auch Definitionen von Testfällen beinhalten, welche bei erfolgreichem Durchlauf die Implementierung der funktionalen, technischen und betrieblichen Anforderungen verifizieren und bestätigen.
- Das **Frequenzspektrum** ist in Abhängigkeit der eingesetzten Technologie zu definieren. Eine rechtzeitige internationale Koordinierung ist notwendig, um in den unterschiedlichen Ländern und Regulierungsbehörden rechtzeitig das definierte Spektrum gegebenenfalls frei zu räumen und für Eisenbahnen zu lizenziieren. In Zusammenhang mit der GSM-R-Migration zu FRMCS ist die adäquate Migrationsstrategie zu definieren, um eine Störung parallellaufender Kommunikationssysteme zu vermeiden.
- Eine **allgemeine technologische Lösung** der gesamten Systemarchitektur (SRS) und Systemfunktionen (FRS) inklusive weiterer Unterstützungsspezifikationen für die an Endgeräten gekoppelte Funktionssysteme muss definiert werden. Die Technologiespezifikation wird begleitet von einem "Proof of Concept", welches zu einem Beschaffungsleitfaden als Hilfe für Bahnen führen soll. Die Entwicklung von Systemanforderungen erfordert ebenfalls eine erweiterte Testprozedur, auf deren Basis die Interoperabilität geprüft und zertifiziert werden muss. Auf Basis der Systemanforderungen SRS, FRS und anderer wird dann das Produkt entwickelt, im Besonderen Infrastruktur, Nutzergeräte und alle notwendigen Funktionalitäten/Anwendungen.
- Definition der **Migration** zu dem neuen Kommunikationsstandard mit einer allgemeinen Migrationsstrategieempfehlung.

Für das gesamte GSM-R-Netzwerk ist seitens der DB ein Migrationsprojekt zu FRMCS anzustoßen. In diesem Projekt müssen alle Netzwerkelemente, Fahrzeugelemente, Mobilgeräte und Applikationen auf die neue Technologie migriert werden. Sowohl ETCS- als auch ATO-Applikationen müssen in das Gesamtprojekt integriert und deren Migration umgesetzt werden. In Rahmen des DB-Gesamtprojekts werden weitere Schritte und Teilschritte für das S-Bahn-ETCS und -ATO eingeplant und durchgeführt.

Kosten

Die Installationskosten für einzelne Übertragungstechnologievarianten sind auf der Ebene dieser Studie sorgfältig geschätzt und auf Basis der heutigen Kostenerkenntnisse verglichen worden. Die Erstausstattung berücksichtigt die für den ATO-Betriebsstart notwendigen Maßnahmen und wird für die Dauer des gesamten GSM-R-Netzwerklebenszyklus nebst Applikationen bis zu einer FRMCS-Hochrüstung genutzt. Das ATO-System ist dann in den Umrüstungsgesamtplan einzubeziehen. Die Kalkulation im Rahmen des Kostenvergleichs unterscheidet Erstausrüstung und weitere fünf Jahren Betriebskosten. Migration- und Technologiekosten von der temporären zur finalen FRMCS-Lösung sind auf Grund fehlender Preise für eine noch nicht existierende Technologie nicht Bestandteil dieser Studie.

Eine grobe allgemeine Kontenschätzung und Kostenvergleich auf Basis der Gesamtinvestitionsgröße für das Netzwerk und für die Endgeräte zeigt nachfolgende Tabelle. Basis sind aktuelle Nettovergleichspreise.

Technologievergleich – Kostenvergleich für Investition und Betrieb auf Basis von Grobschätzungen

Technologiegeneration	2,5 G	LTE (LTE-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN über Router	Kommentar
Entwicklungsjahr	2000	2012 (2016)	2020 in Entwicklung	2022 in Entwicklung	N/A	N/A	
Bahndienste	GSM-R	FRMCS-Kandidat	FRMCS-Hauptkandidat	FRMCS	W-LAN in Hot Spots	W-LAN angebunden mit LTE	
Erwartende Frequenznutzung	900 MHz	800 MHz	800 MHz	900 MHz erwartet	2,4 oder 5 GHz	2,4 oder 5 GHz W-LAN/ 800 MHz	W-LAN in der Fahrzeugeinheit, angebunden an LTE eines privaten Betreiber- netzwerk
Bahninfrastruktur Abdeckung	Bahn- kontinuierlich	Kontinuierlich, nach LTE (-A) Privat Betreiber	Kontinuierlich, nach 5G Privatbetreiber	Kontinuierlich, 5G Bahnlinien Abdeckung	Nur in Hot Spots	Kontinuierlich, nach LTE Privat Betreiber	
Investitionskosten Bahnkernsystem	sehr hoch durch Alterung	niedrig	niedrig	sehr hoch	niedrig	niedrig	
Instandhaltung Bahnkernsystem	sehr hoch durch Alterung	niedrig	niedrig	sehr hoch	niedrig	niedrig	
Betriebskosten Bahnkernsystem	hoch	niedrig	niedrig	sehr hoch	niedrig	niedrig	
Investitionskosten fix montierte Endgeräte (z. B. Triebfahrzeug)	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Hoch	
Instandhaltung fix montiert Endgeräte (z. B. Triebfahrzeug)	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Niedrig	

Technologiegeneration	2,5 G	LTE (LTE-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN über Router	Kommentar
Instandhaltung mobile Endgeräte (z. B. Handy)	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	N/A	N/A	Meistens Geräte-tausch
Migrationskosten zum FRMCS	sehr hoch	hoch	niedrig	niedrig	sehr hoch	sehr hoch	
Private Mobilfunknetze mit Sonderdiensten für Bahnbetrieb als Full-Service	N/A	hoch	sehr hoch	N/A	hoch	hoch	
Private Mobilfunknetze mit Sonderdiensten für Bahnbetrieb mit bahneigenen Installationen	N/A	niedrig	niedrig	N/A	niedrig		Die speziellen Bahnforderungen müssen mit Bahninvestitionen abgedeckt werden

Datensicherheit

Die Sicherheit der Datenübertragung auf die Luftschnittstelle ist in allen Funkzugangstechnologien durch entsprechende Schutzmechanismen gewährleistet. ATO-Daten können je nach Übertragungsvariante auch über andere Netzwerke und deren Übergänge übertragen werden. Sie müssen daher auf Seiten der Applikation gesichert sein. Obwohl die neuen Technologien eine Ende-zu-Ende-Sicherheit für Applikationen zu Verfügung stellen, ist es empfehlenswert, eine solche in die Applikation selbst einzubauen.

Netzwerkumgebungen, auf denen die Applikationen aufgebaut werden, sollten wie allgemein üblich mit eigenen Sicherheitsroutern, VPN, Firewalls, Kryptografie, Zugangsrechtekontrolle und Aufzeichnungen ausgestattet werden.

IP-basierte Telekommunikationsnetzwerke sind für die Applikationen vollständig transparent. Die Applikation, wie beispielsweise ATO, ist daher für die Datenkonsistenz selbst verantwortlich.

Ein Überblick zur Sicherheit im Rahmen dieser Studie ist in nachfolgender Tabelle gegeben.

Technologievergleich Sicherheit

Technologiegeneration	2,5 G	LTE (LTE-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN über Router	Kommentar
Entwicklungsjahr	2000	2012 (2016)	2020 in Entwicklung	2022 in Entwicklung	N/A	N/A	
Bahndienste	GSM-R	FRMCS Kandidat	FRMCS Hauptkandidat	FRMCS	W-LAN in Hot Spots	W-LAN angebunden mit LTE	
Security-Haupteigenschaften für einzelne Technologien	<ul style="list-style-type: none"> Basiert auf die GSM Standard Security Technology und Procederes Auf die Luftschnittstelle wird genutzt übliche GSM-Kryptografie 	<ul style="list-style-type: none"> SIM-Karten und UICC-Token Geräte und Netzwerk Authentifizierung Air interface protection Backhaul and network protection 	<ul style="list-style-type: none"> Network access security Primary Authentication and key management Secondary Authentication and key management Application domain security Visibility and configurability of security E2E-Security für alle Applikation 	<ul style="list-style-type: none"> Network access security Primary Authentication and key management Secondary Authentication and key management Application domain security Visibility and configurability of security E2E-Security für alle Applikation 	<p>Abhängig von eingesetzter Technologie und Infrastruktur und Nutzerverhalten</p> <p>Eine E2E-Applikationsicherheit ist zu implementieren</p>	<p>LTE(-A) Verbindung ist gesichert durch übliche Sicherheit, W-LAN Verbindung zu einer Einheit/Fahrzeug Router ist gesichert mit einer W-LAN Security Procedere, Eine E2E Applikations-sicherheit ist notwendig zu implementieren</p>	<p>Obwohl für die neuen Technologien eine E2E-Sicherheit für Applikationen zu Verfügung stellen wird empfohlen eine E2E-Sicherheit für Applikationen auch in die Applikation selbst nachzubauen</p>
Weitere DB-IP-Netzwerk Sicherheitsmaßnahmen für Applikationsbetrieb	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	Eigene sichere Router, Firewalls, Zugangsrechte und Aufzeichnungen	
Sicherheitsmaßnamen Ende-zu-Ende-Applikation	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	Die Applikation muss selbst die E2E-Sicherheit absichern	

Technologiegeneration	2,5 G	LTE (LTE-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN über Router	Kommentar
Datenkonsistenz Ende-zu-Ende	Die Applikation muss selbst die E2E-Datenkonsistenz absichern						

QoS und Priorisierung in paketvermittelten Netzwerken

Verschiedene Betreiber netzwerke erlauben technisch eine Priorisierung von Datenübertragungen. Private Netzwerke werden eine Priorisierung in der Regel nicht gewähren, da sie unterschiedliche Kunden nicht differenzieren. Eine Priorisierung von Daten für ATO wäre in GSM-R oder in zukünftigen FRMCS-Netzwerken hingegen möglich. Falls eine Applikation eine Priorisierung nutzt, muss in deren Implementierung sichergestellt sein, dass Prioritäten über alle Netzwerkteile und -übergänge richtig übergeben und übertragen werden.

Gemäß den Spezifikationen "SUBSET – 126 ATO-OB / ATO-TS Interface Specification" und "SUBSET – 126 – Appendix A ATO-OB / ATO-TS Interface Specification -- Appendix A - Transport and Security Layers for GSM-R GPRS" wird für die ATO Datenübertragungen auf EIRENE-SRS-Version 16.0.0 verwiesen, Absatz 10.8.5. Dieser Absatz spezifiziert, dass für andere als die ETCS-Applikationen eine QoS-Priorität für den GPRS/EDGE Zugang entweder auf Priorität 2 oder 3 gesetzt wird. EIRENE SRS definiert nur den Funkzugang, daher ist für eine direkte Anbindungen über IP-Netzwerke oder Anbindungen über privaten Betreiber eine Priorität nicht definiert. Die ATO-Priorität bei Nutzung von GSM-R GPRS muss in der ATO-Projektrealisierung gemäß "Radio Transmission FFFIS for EuroRadio" Absatz 4.4.5.3.6 – "For other ERTMS non safety related applications priority 3 is used" auf Priorität 3 gesetzt werden. ERENE-SRS behandelt IP-Netzwerke und IP-Datendienste nur am Rande, daher erfolgt die Priorisierung für Applikationen, welche IP-Netzwerke benutzen, in der Applikationsimplementierung.

Der Quality of Service (QoS) ist in den Spezifikationen als eine allgemeine Verbindungsaufbaubeschreibung für die einzelnen Datenverbindungen beschrieben. Datenverbindungen über GSM-R mit GPRS sind in EIRENE SRS, FRS und im "SUBSET-093 - GSM-R Interfaces Bearer Service Requirements" beschrieben. Für ATO-Übertragungen erfolgt der Verbindungsaufbau gemäß EIRENE-SRS und wird wie für jede andere Applikation aufgebaut. Für die QoS der gesamten Verbindung von Ende zu Ende gelten damit die allgemeinen Bedingungen von Subset 093. Wird später dann die ATO-Applikationsebene definiert, werden die allgemeinen Applikationsforderungen beim Datenrufaufbau umgesetzt.

Die Datenübertragung über private Netzwerke wird mit Betreibern abgestimmten Parametern aufgebaut. Die QoS der Verbindungen folgt dann den mit dem Betreiber abgestimmten Werten. Im Folgenden findet sich ein Technologievergleich auf Basis der Priorisierung der Datenübertragung.

Technologie/-generation	2,5 G	LTE(-A)	5G	FRMCS	W-LAN	W-LAN über Router	Kommentar
Entwicklungsjahr	2000	2012	2020 in Entwicklung	2022 in Entwicklung	N/A	N/A	
Bahndienste	GSM-R	FRMCS-Kandidat	FRMCS (Hauptkandidat)	FRMCS	W-LAN in Hot Spots	W-LAN angebunden mit LTE	
Priorisierung von Verbindungen	ETSI eMLPP Standardisierung, Implementierung nach EIRENE MORANE Spezifikation	Im Standard noch nicht ausreichend definiert Implementierung nach Betreiber Netzwerkspezifikation	Für Bahndienste wird Public Safety related standardisation benutzt: <ul style="list-style-type: none"> • Proximity Services • Isolated E-UTRAN Operations for Public Safety • Mission Critical Services • Mission Critical Push To Talk • Mission Critical Data • Mission Critical Video 	<ul style="list-style-type: none"> • Basiert auf 5G Safety Diensten mit Erweiterung von Bahn spezifischen Forderungen und Einstellungen • Wird neu definiert in USR, SRS und FRS • Erweiterung von allgemeinen Spezifikationen 	Keine Standardisierung von Priorisierung Vorhanden	W-LAN - Keine Standardisierung Vorhanden/ LTE - In Standard definiert Implementierung nach Betreiber Netzwerkspezifikation	<ul style="list-style-type: none"> • Für die Bahnspezifischen Dienste FRMCS muss die gesamte Spezifikation SRS, FRS und andere Spezifikationen entwickelt werden • Für FRMCS müsste die IP Priorisierung richtig ergänzt werden • In privaten Netzwerken Priorisierung meist nicht möglich
Verdrängung von Verbindungen	ETSI eMLPP Standardisierung, Implementierung nach EIRENE MORANCE Spezifikation	Im Standard noch nicht ausreichend definiert Implementierung nach Betreiber Netzwerkspezifikation	Für Bahndienste wird Public Safety related standardisation benutzt: <ul style="list-style-type: none"> • Proximity Services • Isolated E-UTRAN Operations for Public Safety • Mission Critical Services • Mission Critical Push To Talk • Mission Critical Data • Mission Critical Video 	<ul style="list-style-type: none"> • Basiert auf 5G Safety Diensten mit Erweiterung von Bahn spezifischen Forderungen und Einstellungen • Wird neu definiert in USR, SRS und FRS • Erweiterung von allgemeinen Spezifikationen 	Keine Standardisierung von Priorisierung Vorhanden	Keine Standardisierung von Priorisierung Vorhanden	<ul style="list-style-type: none"> • Für die Bahnspezifische Dienste FRMCS muss die gesamte Spezifikation SRS, FRS und andere Spezifikationen entwickelt werden • Für FRMCS müsste die IP Verdrängung richtig ergänzt werden • In privaten Netzwerken Priorisierung meist nicht möglich

Eigentum der Ausrüstung

Für ATO und die Datenübertragung sind in dieser Studie robuste Bahndatenanlagen EDOR vorgesehen. Bei GSM-R-Einsatz werden vorhandene EDOR-Anlagen benutzt und an die ATO-Applikation angebunden.

Für ATO-Datenverbindungen über private Betreiber, Dienste (LTE(-A) oder auch 5G) ist eine Weiterentwicklung der EDOR auf Basis der entsprechenden Technologie notwendig.

Für ATO über W-LAN (in Wendebereichen) oder W-LAN Router (LTE-Anbindung) sind industrielle W-LAN Ausführungen vorgesehen, die dem Einsatz in Triebfahrzeugen gerecht werden.

Bei EDOR oder W-LAN-Geräteinstallation werden desweitern Kabel für Einspeisung, Antenne und für Verbindung mit der Applikation benutzt.

In der Studie wird davon ausgegangen, dass sich die Gesamtsysteminstallationen im Eigentum des Fahrzeugeigentümers befinden werden.

ATO-Anbindungs- und Betreiberrisiken

Bei den unterschiedlichen Lösungen der ATO-Anbindung entstehen in Abhängigkeit der Anbindungsvariante unterschiedliche Risiken. Der Umgang mit allen skizzierten Risiken ist grundsätzlich handhabbar sofern die möglichen Risiken rechtzeitig erkannt und bewertet und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Die nachfolgende Tabelle stellt Risiken für ATO-Anbindungen dar:

Tabelle 36: Definition möglicher ATO-Risikoszenarien – ATO-System – Kommunikationsteil

Element	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Mögliche Gegenmaßnahmen	Bewertung
ATO-Light	ATO-Light-Spezifikation wurde nicht entwickelt	Variante „W-LAN in Wendebereichen“ nicht nutzbar, mögliche Kostenerhöhung	W-LAN in Wendebereichen Variante wird nicht für das Projekt gewählt und genutzt	Rechtzeitige Projektbewertung von Applikationsanforderungen der ATO-Lösung und mögliche Anbindungen, Fortschritt der ATO-Light-Spezifikation verfolgen	***
ATO-Applikation direkt über “LAN” anbinden	ATO weitere Schnittstellenspezifikationen z. B. direkte ATO-„LAN“ Anbindung werden nicht weiterentwickelt Richtung Direktanbindung	ATO-Anbindung benutzt eine nicht standardisierte Lösung, mögliche Kostenerhöhung	Notwendigkeit, eine ATO “LAN” Anbindung in Zusammenarbeit DB und ATO Lieferant spezifizieren, entwickeln und implementieren zu lassen	Soweit wie möglich eine standardisierte und spezifizierte Lösung nutzen, wenn notwendig, eine eigene geplante Spezifikation entwickeln und implementieren im Projektzeitrahmen	**
ATO-Applikation über LTE(-A) abbinden	ATO weitere LTE(-A) Schnittstellen-spezifikationen wird nicht entwickelt	ATO-Anbindung benutzt eine nicht standardisierte Lösung (GPRS-Anbindung), mögliche Kostenerhöhung	Notwendigkeit, eine ATO-LTE(-A)-Anbindung in Zusammenarbeit DB und ATO-Lieferant spezifizieren, entwickeln und implementieren zu lassen	Soweit wie möglich eine standardisierte und spezifizierte Lösung nutzen, wenn notwendig, eine eigene Spezifikation entwickeln und im Projektzeitrahmen implementieren	**
5G-Abdeckung nicht kontinuierlich (Anbindung 5G)	5G-Abdeckung nicht kontinuierlich entlang den S-Bahn-Strecken	Das ATO-GoA2-System kann nicht dauernd und regelmäßig benutzt werden, mögliche Kostenerhöhung	Notwendigkeit, eine ATO LTE(-A)-Anbindung in Zusammenarbeit DB und ATO-Lieferant spezifizieren, entwickeln und implementieren zu lassen	Soweit wie möglich eine standardisierte und spezifizierte Lösung nutzen, wenn notwendig, eine eigene Spezifikation entwickeln und im Projektzeitrahmen implementieren	**
LTE(-A)-Abdeckung nicht kontinuierlich entlang der S-Bahn-Strecken	LTE(-A)-Abdeckung nicht kontinuierlich entlang der S-Bahn-Strecken	Das ATO-GoA2-System kann nicht dauernd und regelmäßig benutzt werden, mögliche Kostenerhöhung	Mit privatem LTE-Betreiber eine Verbesserung im S-Bahn Raum Stuttgart Strecken verhandeln und vereinbaren	Rechtzeitige Abdeckung der privaten Betreiber der S-Bahn-Stuttgart-Strecken auswerten, wenn notwendig Verhandlungen mit ausgewähltem Betreiber	**
LTE (-A) Abdeckung nicht kontinuierlich	Das W-LAN über LTE(-A) Router kann nicht durchgängig benutzt	Das ATO-GoA2-System kann nicht dauernd und regelmäßig	Mit LTE(-A) Privaten Betreiber eine Verbesserung von S-Bahn	Rechtzeitig Abdeckung der privaten Betreiber LTE(-A) Abdeckungen von S-Bahn	**

Element	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Mögliche Gegenmaßnahmen	Bewertung
(W-LAN über LTE(-A) Router)	werden, dadurch LTE (-A) Abdeckung nicht kontinuierlich entlang den S-Bahn-Strecken	benutzt werden, mögliche Kostenerhöhung	Raum Stuttgart Strecken verhandeln und vereinbaren	Stuttgart Strecken auswerten, wenn notwendig Verhandlungen mit ausgewähltem Betreiber	
W-LAN-Anbindung über LTE(-A)-Router funktioniert auf Netzwerkebene nicht zuverlässig	W-LAN über LTE(-A)-Router kann nicht richtig benutzt werden, dadurch LTE(-A)-Wagen/Einheit Abdeckung/Verbindung häufig überlastet oder gestört ist	ATO-GoA2-System kann nicht dauernd und regelmäßig benutzt werden, mögliche Kostenerhöhung	Anpassungen von W-LAN-Anbindungen in Wagen/Einheit notwendig	Rechtzeitige Abdeckung W-LAN-Anbindungen über LTE(-A)-Router in Wagen/Einheit W-LAN dauerhaft messen und auswerten, wenn notwendig Anpassungen und Verbesserungen vornehmen	**
Erhöhte Migrationskosten	Wegen Überlappungen von Projektterminen und unterschiedlichen Technologiemigrationen könnten sich die Migrationen, Abnahmen, Umrüstungen und andere Arbeiten viel überschneiden und gegenseitig Einflüssen	Die Migrations-, Umrüstungs-, Abnahme- und andere Kosten sind erheblich erhöht	Die unterschiedlichen Migrationen und Technologie Generationswechsel ständig beobachten und sich in das Projekt gleich einarbeiten mit allen Auswirkungen	Die unterschiedlichen Migrationen für die Haupttechnologien und Technologie Generationswechsel sorgfältig in das Projektrahmen einplanen und alle Auswirkungen steuern	**
W-LAN-Abdeckung in Wendebereichen nicht ausreichend	W-LAN-Abdeckung steht in den Wendebereichen nicht zu Verfügung	ATO(-Light)-Daten werden unter Umständen nicht richtig übertragen, ATO(-Light)-System kann nicht dauernd und regelmäßig benutzt werden, mögliche Kostenerhöhung	Eine erweiterte W-LAN-Abdeckung in Wendebereichen installieren	Rechtzeitig die W-LAN-Abdeckungen von Wendebereichen der S-Bahn messen, prüfen und bewerten	**
GSM-R im Stuttgart S-Bahn Raum wird deutlich länger im Einsatz sein und damit ATO-Interimslösung ebenfalls	Wegen häufigem Technologiewechsel, Musterumrüstungen, Umrüstungen und Abschreibungen wird sich die GSM-R-Nutzung und die ATO-Interimslösung deutlich länger verzögern	Verzögerung von GSM-R- und ATO-Interimslösung Nutzung und dadurch verspäteter FRMCS-Einsatz	Projektmeilensteine sorgfältig in Technologiewechsel und Migrationen einplanen	Projektmeilensteine sorgfältig in Technologiewechsel und Migrationen einplanen	**

Tabelle 37: Definition möglicher Ausfallszenarien – ATO-System – Kommunikationsteil

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt Stuttgart Stammstrecke Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
ATO-Festseite-Infrastruktur (Option W-LAN und FRMCS)	ATO-Totalsystemausfall (Option W-LAN und FRMCS)	ATO-Daten werden nicht an die Züge übertragen, kein ATO-Betrieb möglich (Option W-LAN und FRMCS)	Auf ATO-Infrastruktur-Seite Fehlersuche durchführen und Fehler beseitigen (Option W-LAN und FRMCS)	Arbeiten auf ATO-Infrastruktur-Seite sorgfältig vorbereiten, durchführen, testen und dokumentieren. Regelmäßige Instandhaltung sorgfältig durchführen (Option W-LAN und FRMCS)	***
ATO-Festseite-Infrastruktur (Option W-LAN und FRMCS)	ATO-Teilsystemausfall (Option W-LAN und FRMCS)	ATO Daten werden an die Züge teilweise nicht übertragen, kein ATO-Betrieb möglich (Option W-LAN und FRMCS)	Auf ATO-Festseite-Infrastruktur Fehlersuche durchführen und Fehler beseitigen (Option W-LAN und FRMCS)	Arbeiten auf ATO-Festseite-Infrastruktur sorgfältig vorbereiten, durchführen, testen und dokumentieren. Regelmäßige Instandhaltung sorgfältig durchführen (Option W-LAN und FRMCS)	***
S-Bahn-Wendebereiche (Hot-Spot-Betrieb, Option W-LAN)	Teilstörung W-LAN-Technologie in S-Bahn Wendebereichen (Option W-LAN)	Teilweise Übertragung von "Journey Profiles" nicht möglich (Option W-LAN)	Auf ATO-Festseite-Infrastruktur Fehlersuche durchführen und Fehler beseitigen (Option W-LAN)	Arbeiten auf ATO-Festseite-Infrastruktur sorgfältig vorbereiten, durchführen, testen und dokumentieren. Regelmäßige Instandhaltung sorgfältig durchführen (Option W-LAN)	***
3G oder LTE S-Bahn kontinuierliche Abdeckung (Option 3G und LTE Privatbetreiber)	Teilstörung Übertragungstechnologie auf S-Bahn, keine kontinuierliche Abdeckung (Option 3G und LTE-Privatbetreiber)	Teilweise Übertragung von "Journey Profiles" nicht möglich (Option 3G- und LTE-Privatbetreibern)	Bei 3G- oder LTE-Privatbetreibern die Fehlersuche anstoßen und durchzuführen (Option 3G- und LTE-Privatbetreibern)	Bei 3G- oder LTE-Privatbetreibern die betrieblichen Prozesse prüfen und die Dienstgüte prüfen und optimieren (Option 3G- und LTE-Privatbetreiber)	***

Element	Ausfall	Auswirkung	Fehlerbeseitigung	Projekt Stuttgart Stammstrecke Maßnahmen gegen den möglichen Ausfall	Bewertung
FRMCS S-Bahn kontinuierliche Abdeckung (Option FRMCS)	Teilstörung Übertragungstechnologie auf S-Bahn kontinuierliche Abdeckung (Option FRMCS)	Teilweise Übertragung von "Journey Profiles" nicht möglich (Option FRMCS)	Bei 3G- oder LTE-Privatbetreibern die Fehlersuche anstoßen und durchzuführen (Option FRMCS)	Arbeiten auf ATO-Festseite-Infrastruktur sorgfältig vorbereiten, durchführen, testen und dokumentieren. Regelmäßige Instandhaltung sorgfältig durchführen (Option FRMCS)	***
ATO-System auf dem Triebfahrzeug	Keine oder teilweise gestörte Verbindung zur ATO-Infrastruktur möglich	ATO-Daten werden nicht auf das Triebfahrzeug übertragen, teilweise ATO-Betrieb nicht möglich	ATO-Systemfehler auf dem Triebfahrzeug (Antenne, Antennenkabel, Einspeisung fehlerhaft, usw.) → Beseitigen	Alle ATO-Teile auf dem Triebfahrzeug sorgfältig montieren und nach der Montage entsprechend testen	***
ATO-System	In Depot können keine "Segment Profiles" übertragen werden	Übertragung von "Segment Profiles" nicht möglich	Auf ATO-Festseite-Infrastruktur und/oder auf Triebfahrzeug Fehlersuche durchführen und die Fehler beseitigen	Arbeiten auf ATO-Festseite-Infrastruktur sorgfältig vorbereiten, durchführen, testen und dokumentieren. Regelmäßige Instandhaltung sorgfältig durchführen	***
W-LAN Über LTE-Router	Keine Verbindung zu den Servern möglich	Keine Journey-Profile-Übertragung möglich	Reparatur der internen Fahrzeugeinheit W-LAN über LTE(-A)-Router	Regelmäßige Wartung der Installation W-LAN über LTE(-A)-Router und Instandhaltung durchführen	

2.2.7 Bewertung und Empfehlung

Technologie	PROs	CONS	Kommentar
GSM-R	<ul style="list-style-type: none"> Netzwerk in Bahneigentum Kontinuierliche Streckenversorgung Netzwerkbetrieb und Applikationen in Bahnverantwortung 	<ul style="list-style-type: none"> Veraltete, abgekündigte Technologie, muss sukzessive ersetzt werden Nur CS Dienste, Massive Investitionen in PS Dienste wären notwendig Langsame Dienste 	Keine Option für ATO Einsatz, wegen Standardisierung eingetragen nur aus komparativen Gründen
LTE (LTE-A)	<ul style="list-style-type: none"> Netzwerke bei privaten Betreibern in Betrieb Endgeräte gut verbreitet auf dem Markt Gut geeignet für Datendienste Ausreichende Diensteschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Garantie für durchgehende Streckenversorgung Eigentum von Netzbetreibern, Eigene Investitionen in Netzwerkzusammenschaltungen und potenziell geforderte Erweiterung notwendig Das Standard wurde für Datenübertragungen entwickelt, Sprachdienste wurden nachträglich eingeführt Definition von bahnbetrieblichen Diensten aufwändig anzupassen 	Nach Bahnspesifikation und bei Einsatz von ATO ab 2025 teilweise veraltet
5G (FRMCS)	<ul style="list-style-type: none"> Investition in Bahneigentum, Netzbetrieb und Applikationen in Bahneigentum Kontinuierliche Streckenversorgung Spezielle "Public Safety" Kommunikation direkt im Basis-Standard definiert Erfüllt COTS (Commercial off-the-shelf) Ausreichende Diensteschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Massive Investitionen in Netzwerk, Endgeräten und Anpassung von Applikationen notwendig Neuimplementierung von allgemeiner Technologie und in neuen Bahnimplementationsstandard Anzahl von Typen und Funktionen von Endgeräten SUBSET – 126 – Appendix A wahrscheinlich notwendig anzupassen 	Hauptkandidat für die FRMCS Implementierung, ETSI Standard noch in Entwicklung, Bahn Standarddefinition noch in Anfangsphase
W-LAN (2,4 oder 5 GHz)	<ul style="list-style-type: none"> Netzwerk in Bahneigentum, Netzbetrieb und Applikationen in Bahneigentum Erweiterung möglich nach Bedarf und Nutzung Vergleichsweise niedrige Investitionen Mögliche Nutzung für unterschiedliche Bahnapplikationen Ausreichende Diensteschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Lediglich Hot-Spots Streckenversorgung Nur teilweise vorhanden in Bahnhöfen Begrenzte Sicherheit gegen Netzangriffe SUBSET – 126 – Appendix A wahrscheinlich notwendig anzupassen/nicht zu nutzen 	Technologie, die die bahnbetrieblichen Hot-Spot-Anforderungen erfüllt
W-LAN über vorhandene LTE Router	<ul style="list-style-type: none"> Anbindung an vorhandene in Fahrzeug/Einheit Kommunikationsanlage über W-LAN Verbindung Keine zusätzliche Funkanlage und keine zusätzliche Vertrag mit privaten Betreibern notwendig Bahnbreite Verbindung welche alle ATO Forderungen erfüllen kann 	<ul style="list-style-type: none"> Gemeinsam benutzte Betriebsverbindung, wenn ist das Verbindung überlastet dann gehen keine ATO Daten durch, bei W-Lan voll Belegung von einen Nutzer gehen auch keine Daten durch Sicherheit von ATO Verbindung durch gemeinsame W-Lan Verbindung muss geprüft und ausgewertet werden, leider keine Ethernet Kabelverbindung möglich Bei Anlagenstörung wird mit anderen Das Router gehört nicht zum ATO Applikation aber zum anderen Dienststellen SUBSET – 126 – Appendix A wahrscheinlich notwendig anzupassen/nicht nutzen 	Gemeinsame Verbindung W-Lan in Wagen Technologie mit LTE von Private Netzen entlang Strecken, die erfüllt die kontinuierliche Verbindung für ATO Applikation (je nach Strecke Abdeckung)

Abbildung 33: Technologiebewertung und ATO-Kostenvergleich (Investition + Betrieb)

Für die ATO-Kostenschätzungen sind die folgenden Kosten enthalten:

Investitionen fahrzeugseitig:

- Anzahl der S-Bahn Einheiten EDOR für einzelne Technologien oder W-LAN in Industrieausführung
- Verkabelung für Antenne, Einspeisung und Signal von/zur ATO-OB
- Montage und Inbetriebsetzung inklusive SIM
- Inbetriebnahme
- Musterumrüstung

Investitionen Infrastruktur W-LAN Hot Spots:

- Aktive Elemente W-LAN
- Antennen
- Verkabelung zu den Antennen und auch zur Einspeisung
- Montage und Inbetriebsetzung inklusive SIM
- Inbetriebnahme
- Weitere aktive Infrastruktur vor Ort

Für Investitionen in GSM-R GPRS System:

- Core GSM-R GPRS-System
- Erweiterungen von BSS im Raum Stuttgart

Für die Nutzung der Infrastruktur und Instandhaltung werden 5-jährige Betriebskosten angenommen:

- Tarife Nutzung von privaten Betreibern, wenn verwendbar
- Instandhaltung Technik
- Strom, Miete, OMC

Die aufsummierten Kosten werden mit einem idealen zukünftigen ATO-Übertragungssystem FRMCS verglichen, siehe Abbildung 34.

ATO Paketverbindungsoptionen						
	GSM-R	LTE (LTE-A)	5G	FRMCS (5G)	W-Lan	W-Lan Router
Variante	Mögliche Lösung, Große Investition in eine veraltete Technologie	Mit Spezifikation und Einsatz von ATO, dann teilweise veraltet	Mögliche vorübergehende ATO Variante	Hauptkandidat für ATO Zielvariante	Mögliche vorübergehende ATO Variante	Mögliche vorübergehende ATO Variante
Funkzugang	Kontinuierlich	quasi-kontinuierlich (abh. v. Privaten Betreibern)	quasi-kontinuierlich (abh. v. Privaten Betreibern)	Kontinuierlich	Hot Spot	quasi-kontinuierlich (abh. v. Privaten Betreibern)
Einheiteneinbau (Fahrzeuge)	(wird nicht benutzt, keine Kapazität, veraltet)	Betreiber (EDOR)	Betreiber (EDOR)	DB FRMCS (EDOR)	in möglichen Wendepunkten W-Lan Zugangspunkte	angebunden an Router im Zug; LTE Dienste Privater Mobilfunk
Spezifika	Grds. Mögl. Option für ATO-Einsatz wegen heutiger Standardisierung; große Investition in ein Core Netzwerk, veraltete Technologie	Nach Bahnspezifikation und bei Einsatz von ATO ab 2025 teilweise veraltet	5GETSI Standard noch in Entwicklung, jedoch früherer Einsatz bei Privaten Betreibern erwartet	FRMCS Implementierung, 5G ETSI Standard noch in Entwicklung, Bahn Standarddefinition noch in Anfangsphase	Technologie, die die bahnbetrieblichen Hot-Spot-Anforderungen erfüllt	Gemeinsame Verbindung WLAN in Wagen; LTE von privaten Netzen entlang der Strecken, ggf. kontinuierliche Verbindung für ATO Applikation
Relative Lebenszykluskosten für 5 Jahre	227%	107%	105%	100%	73%	50%

Abbildung 34: Optionen paketvermittelter ATO-Datenübertragung

Die WLAN-Router Variante beinhaltet eine LTE-Anbindung über einen privaten Netzbetreiber über Antenne in die Fahrzeugeinheit. Die Breitbandanbindung wird innerhalb der Fahrzeugeinheit über Router und WLAN-Access Points weiter verteilt. Da die Routeranbindung sehr kompakt eingebaut ist und die ATO-Technologie keine freie Breitbandbuchse zur Anbindung über Kabel verfügt, ist eine Anbindung über Ethernet derzeit nicht möglich. Die ATO-Applikation muss sich daher innerhalb der Fahrzeugeinheit über WLAN gemäß folgender Abbildung anbinden.

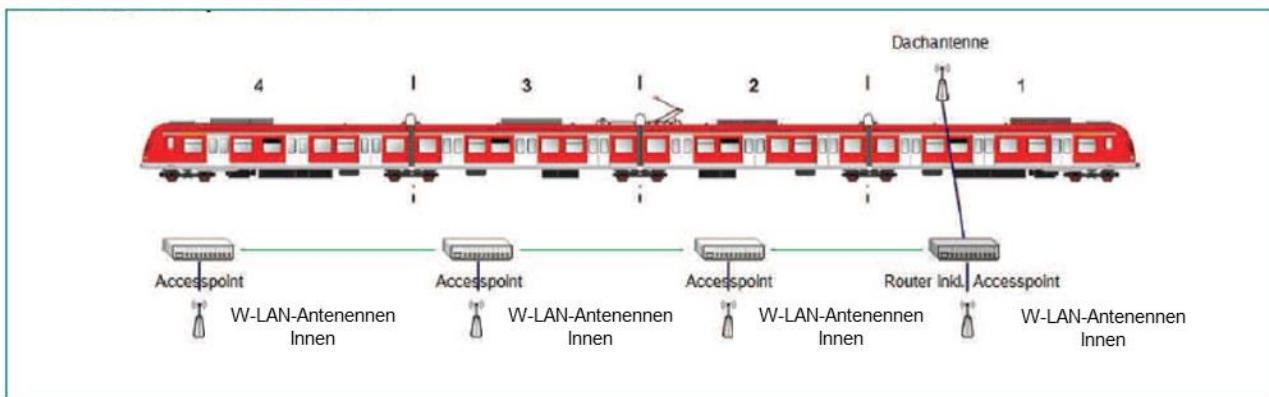


Abbildung 35: WLAN über Routeranbindung, Quelle DB AG

Empfehlung zur ATO-Anbindung

Das Funknetz im Stuttgarter S-Bahn-Raum sollte in Anbetracht des aktuell laufenden BSS-Re-Invest und der damit verbundenen Abschreibungsfristen schnellstmöglich auf die neue GSM-R-BSS-Technologie umgerüstet werden. Dies ermöglicht damit eine frühere Einführung von FRMCS mit einer Migration aller Applikationen inklusive ATO auf diese Technologie.

Sollte die 5G-Technologie bis 2020 spezifiziert sein, ist zu erwarten, dass 5G in Privaten Netzwerken in 2023 zu Verfügung steht. FRMCS sollte bis 2022 spezifiziert sein, um einen möglichen flächendeckenden Rollout ab 2024 zu ermöglichen.

Für die ATO-Light-Datenübertragung (GoA2) wird auf Grund der sehr viel einfacheren späteren Migration auf FRMCS eine interimistische Anbindung über ein privates 5G-Netz empfohlen. Da 5G derzeit zwar verschiedentlich angekündigt wird aber nicht sicher kalkulierbar ist, wird als Rückfalllösung eine W-LAN-Anbindung über bereits vorhandene interne Fahrzeugrouter mit Anbindung über ein privates LTE-Netz empfohlen (W-LAN über LTE-Router). Unsicherheiten, die diese Interimslösung anstelle 5G notwendig machen können, sind, dass bis zur Musterumrüstung 2022 aus zeitlichen oder anderen Gründen, z. B. keine 5G-Abdeckung in Raum Stuttgart verfügbar ist, oder kein Vertrag für 5G-Übertragung mit privaten Betreibern erreicht werden kann. Als zeitlicher Meilenstein zur Entscheidung der empfohlenen Optionen ist Juni 2019 zu sehen. Je nach Projektstand oder bei Eintreten anderer Bedingungen ist der Meilenstein neu zu setzen und zu verfolgen. Sollte zu einem späteren Zeitpunkt die Verfügbarkeit eines privaten 5G-Netzes gesichert sein, wäre ein Wechsel hierhin zu prüfen.

2.2.8 Ausblick FRMCS mit heutigem Stand

Die folgende allgemeine Beschreibung zur weiteren Entwicklung eines zukünftigen Funksystems FRMCS ist auf die im Rahmen dieser Studie erforderlichen Fakten und Tiefe begrenzt. Informationsstand ist August 2018.

Rückblick – UIC und die DB AG GSM-R Implementierung

Die UIC hat 1994 die weltweite GSM-Mobilfunktechnologie als Grundlage eines "Digitalen Bahnfunk Kommunikationssystems" auf Basis der allgemeinen ETSI/3GPP-GSM-Spezifikation als sogenannte COTS-Lösung ausgewählt. UIC begann mit Spezifikationsarbeiten unter der Bezeichnung EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network). Das bahnbetriebliche Netzwerk wurde als GSM-R bezeichnet. 1999 wurde seitens der DB AG das erste GSM-R-Netzwerk begonnen zu implementieren und 2004 im Bahnwirkbetrieb in Betrieb genommen. Derzeit wird die erste Generation im Rahmen des bereits erwähnten BSS-Re-Invest durch eine neue Generation ersetzt. Nach Jahren von Verhandlungen wurde das Ende der GSM-R Unterstützung seitens der Infrastrukturlieferanten auf das Jahr 2030 festgesetzt. Die Notwendigkeit zur Entwicklung eines Nachfolgesystems war und ist hiermit gegeben.

Entwicklung der nächsten Bahnfunksystem-Generation

2012 starteten Aktivitäten für ein GSM-R Nachfolgesystem unter dem Namen FRMCS (Future Railway Mobile Communications System). Auf Basis von UIC, ERA, Bahngesellschaften und Industriekooperation begannen folgende Ebenen mit der FRMCS Spezifikationen und Entwicklung:

- Steering Group FRMCS Strategie und Planung
- FRMCS Functionality Working Group (FWG) für Funktionen und Bahnanforderungen
- FRMCS Architecture and Technology Group Working Group (ATWG) mit Fokus auf Architektur und Technologiekandidaten
- UIC Group for Frequency Aspects (UGFA) für Frequenzspektrum und Migrationsszenarien

Die Arbeitsgruppen fokussieren sich auf folgende Hauptaktivitäten:

- User Requirements Specifications (die letzte Version URS 3.0.0 – uic.org)
- Funktionale und System-Prinzipien und Use Cases
- Migrationsstrategie von GSM-R zu FRMCS bezüglich Frequenzen
- Die allgemeine Nutzung von FRMCS für unterschiedliche Bahnbereiche und spezifische Bahnnutzung

Die Hauptanforderungen an die FRMCS-Entwicklung sind:

- Applikationsbasierende Realisierung
- Möglichst weitgehend COTS bei gleichzeitig möglichst geringer, auf dieser Basis sollte die Lösung möglichst wirtschaftlich werden
- Trägerflexible Grundlage (Bearer independent): Mobil, Satellit, W-LAN, Festnetz usw. Die Dienste in unterschiedlichen Regionen oder Ländern werden mit unterschiedlichen Netzwerken für das gleiche Endgerät erbracht
- Einsetzbar für Magistralen, Massentransport, Metro-Netzwerke, Regionalbetrieb und Güterverkehr

- Flexibilität bei der Netzwerknutzung und -modellierung (d.h. es besteht die Möglichkeit, private Mobilfunknetze, öffentliche Mobilfunknetze, W-LAN-Netze, andere mobile Technologienetze oder Hybridlösungen zwischen diesen Systemen zu nutzen)
- Flexibilität auf Anwendungsebene für Anwendungen, die für die Interoperabilität unkritisch sind (d.h. die Bahnen müssen die Freiheit haben, Anwendungen zu implementieren, die die Interoperabilität nicht beeinträchtigen)
- Stellt eine hohe Verfügbarkeit von Diensten sicher, die der GSM-R-Verfügbarkeit mindestens gleichwertig sind
- Interworking-Fähigkeiten mit GSM-R
- IP-Breitbandnetzwerk
- Interoperabilität (d.h. Züge in Mobilfunknetzen zwischen Ländern verkehren zu lassen und die Koexistenz zwischen GSM-R und zukünftigen Technologien ermöglichen)
- Zukunftssicher bietet eine langfristige evolutionäre Lösung für die Eisenbahnen
- Ermöglicht eine nahtlose Migration von Sprach- und ETCS-Diensten auf die neue Kommunikationstechnologieplattform
- Adressiert europäische und außer-europäische Bahnanforderungen

Vorbereitung für die nächste Bahnfunksystem-Generation

ETSI und 3GPP arbeiten eng mit verschiedenen Bahnbehörden zusammen. Auf Basis dieser Kooperation wurden zahlreiche informative und verbindliche Spezifikationen entwickelt und Entwicklungen eines zukünftigen Bahnkommunikationssystems fortgeführt. Derzeit entstehen neue Dokumente, welche die weitere Entwicklung eines zukünftigen Bahnkommunikationssystems unterstützen. Folgende Vorteile ergeben sich für das neue Bahnkommunikationssystem gemäß der 3GPP-Entwicklung - mit einer Systemarchitektur wie derzeit in Dokument ETSI TC RT TR 103.459 definiert:

- Interoperabilität und Zusammenarbeit
- Zuverlässigkeit und Robustheit
- Flexible Service-Architektur für Applikation Orchestrierung → IMS
- Sicherheitsorientierte Kommunikation (MCx)
- Mehrfachzugriffstechnologien mit Aggregationsoptionen in Core und Radio
- Servicequalität, Effizienz, Cybersicherheit

In den Jahren 2015 bis 2018 wurden innerhalb der ERA mehrere Studien zur Bahnkommunikationsnutzung, mögliche Technologiekandidaten, Migrationskonzepte und weiteren Technologieentwicklung ausgearbeitet. Die ERA in Zusammenarbeit mit ETSI und der Industrie verifizieren die Bahnforderungen in Pilotinstallationen auf Basis von LTE-Systemen, da die 5G-Technologie seitens Spezifikation und Technologie noch nicht verfügbar ist.

Innerhalb dieser Studie wird davon ausgegangen, dass LTE (spezifiziert 2012) und LTA-A (spezifiziert 2016), zeitnah weltweit in Wirknetzwerken zum Einsatz gelangen, bei Beginn der Migration zu FRMCS in Jahren 2023-2027 jedoch bereits teilweise veraltet und möglicherweise Kandidat für eine Außerbetriebsetzung sind.

Gegenwärtig ist davon auszugehen, dass die grundlegende Technologiespezifikation für die nächste Mobilnetzwerkgeneration 5G seitens 3GPP - ETSI 2019 abgeschlossen wird:

3GPP – ETSI Release 16, "5G phase 2" soll im Dezember 2019 beendet sein

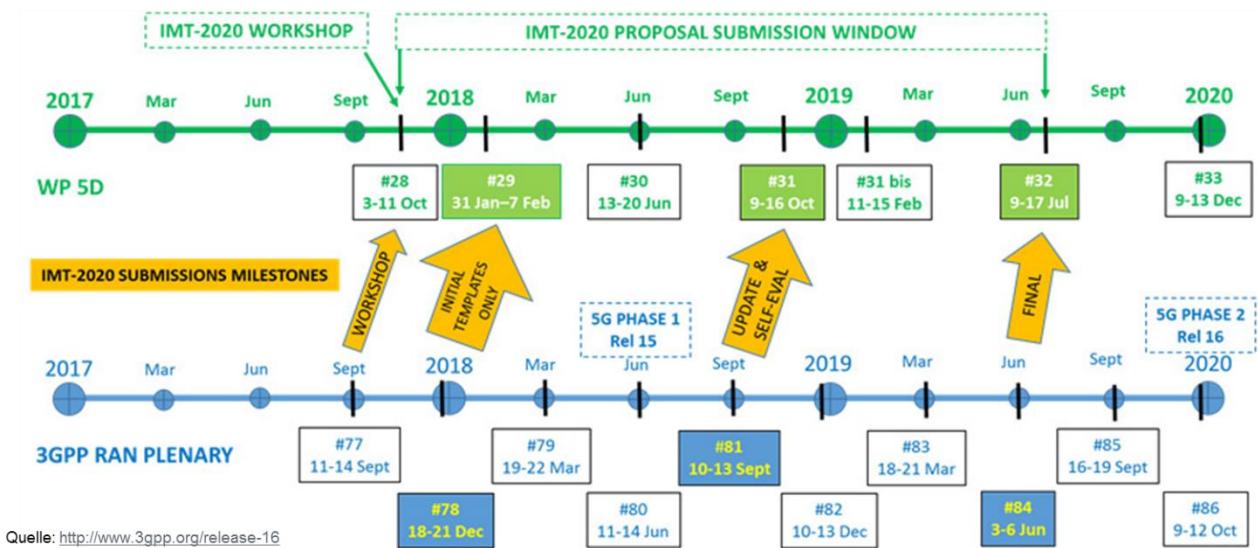
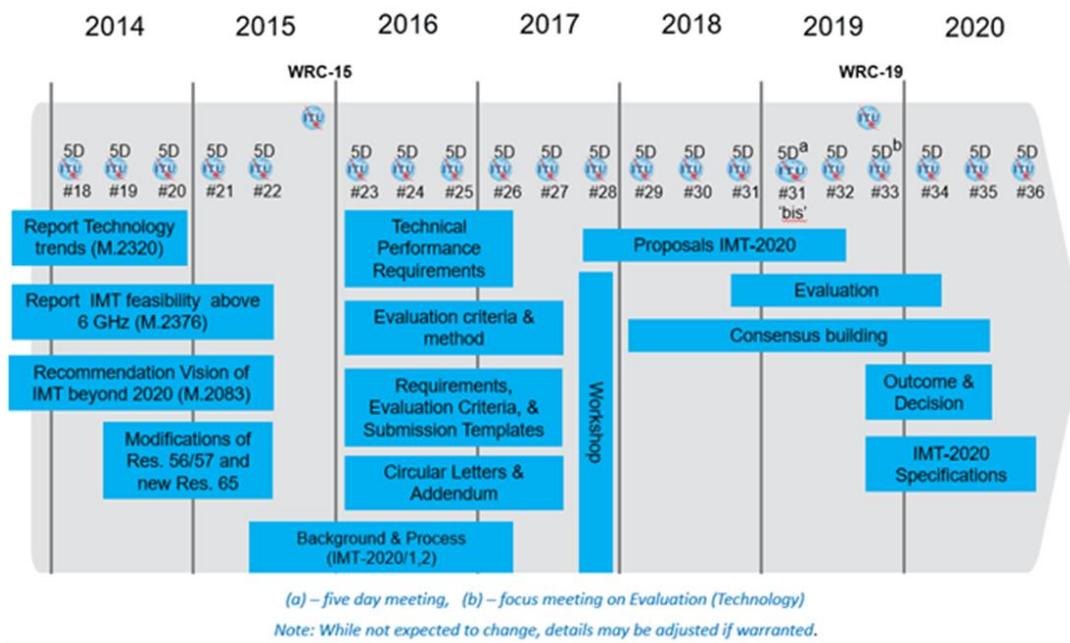


Abbildung 36: ETSI Release 16 Zeitplan, Quelle 3GPP und ETSI

Weite Teile der 5G Detail-Spezifikation werden bei IMT 2020 entwickelt und sollen im Jahr 2020 abgeschlossen werden:

ITU und IMT 2020 5G Entwicklungsplanung

Detailed Timeline & Process For IMT-2020 in ITU-R



Quelle: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

Abbildung 37: IMT 2020-Zeitplan für 5G-Entwicklung, Quelle ITU

Für die 5G-Technologie erwartet man ein Ende der Entwicklungen für Infrastruktur, Produkte und auch Applikationen sowie den Beginn erster Netzinstallationen in den Jahren 2019 bis 2022. Endgeräte sind für diesen Zeitpunkt auch mit 5G-Spezifikationskonformität für private Nutzer angekündigt.

Eigenschaften der bevorzugten Technologie 5G

Die wesentlichen Vorteile von 5G im Vergleich zu vorherigen Mobilfunknetzwerkgenerationen sind:

- Datenraten bis zu 20 Gbit/s und starke MIMO-Technologie (MIMO ist eine gezielte Mehrfachverbindung von Mobilgerät und Infrastruktur)
- Nutzung von unterschiedlichen, aber auch höherer Frequenzbereiche, mit gleichzeitig flexibler Frequenzbandnutzung
- Erhöhte Frequenzkapazität durch Kodierung und erhöhten Datendurchsatz (höhere Biteffizienz pro 1 Hz)
- Echtzeitübertragung, weltweit hunderte Milliarden Mobilfunkgeräte gleichzeitig ansprechbar
- Hochzuverlässige Kommunikationsanforderungen für betriebs-, geschäfts- oder sicherheitskritische Anwendungen
- Latenzen von unter 1 ms und Übertragung in Echtzeit
- Kompatibilität von Maschinen und Geräten
- Direkte Gerätekommunikation
- Infrastructure Access / Backhaul Integration

- Trennung von Nutzerdaten und Steuerungsdaten
- Senkung des Energieverbrauchs je übertragenem Bit (1/1000) und bis zu 90% geringerer Stromverbrauch je nach Mobildienst
- Netzwerk-Slicing – Logische Dienste auf Basis vorhandener Infrastruktur

In dieser Studie nicht weiter relevante und daher nicht betrachtete 5G-Funktionalitäten

Folgende 5G-Netzwerkfunktionalitäten, welche zwar mehr Effizienz für den Netzwerkinhaber oder -betreiber bringen, werden in dieser Studie nicht untersucht, berechnet und ausgewertet:

- IoT-Geräteanbindung und Automatisierung in Industrie und Nutzung vertikaler Segmente
- Privatnutzerapplikationen wie z. B. Gesundheitsdatenunterstützung
- Nutzung von 5G wie eine Radiolinkverbindung (Netzwerk Backhauling)
- Automotive Sektor mit V2X – Fahrzeugkommunikation
- Broadcasting-Dienste (TV und Radio)
- Heterogener Einsatz in Netzwerken bei Nutzung von lizenzierten, z. B. ETSI-Standard, und nicht lizenzierten Bändern, z. B. IEEE-Standards, sowie Integration von unterschiedlichen anderen Technologien (W-LAN, Satellit, andere private Netzwerke, Fixed- und BOS-Netzwerke, und andere Technologien und Lösungen als ein Teil des 5G-Netzwerks)

Sofern die oben genannten Dienste bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzt werden sollen, müssten diese dann separat untersucht werden

Erwarteter grundsätzlicher Zeitplan der FRMCS-Entwicklung

Es wird davon ausgegangen, dass die für Bahnen und deren Betrieb spezifischen Entwicklungen und Spezifikationen, für FRMCS auf Basis von 5G begonnen wurden und im Jahr 2022 erfolgreich abgeschlossen sein werden. Für das S-Bahn Stuttgart ETCS-L2-Projekt bedeutet dies, dass die folgenden Meilensteine im vorge sehene Zeitrahmen innerhalb der Entwicklung von FRMCS abgeschlossen sein müssten:

- Das 5G-System inklusive “Critical Communication” Spezifikation bis 2020 auf Basis von ETSI und IMT – 2020.
- 5G-Systemtests und Beginn von Massenrollout in privaten Netzen bis 2022
- Abgeschlossene FRMCS-Spezifikation basierend auf 5G inklusive “Critical Communication” Spezifikation, Tests der Technologie und Spezifikationen bis 2022
- Anpassung von CCS TSI bis Ende 2022
- Anfang von FRMCS-Implementierung und Umsetzung Anfang 2023
- Migration zur FRMCS-Implementierung in ein Wirknetzwerk

Der Aufwand der genannten Parallelarbeiten symbolisiert nachfolgende Abbildung 38:

FRMCS (EVORA) Entwicklung basierend auf 3GPP 5G Entwicklungsplanung

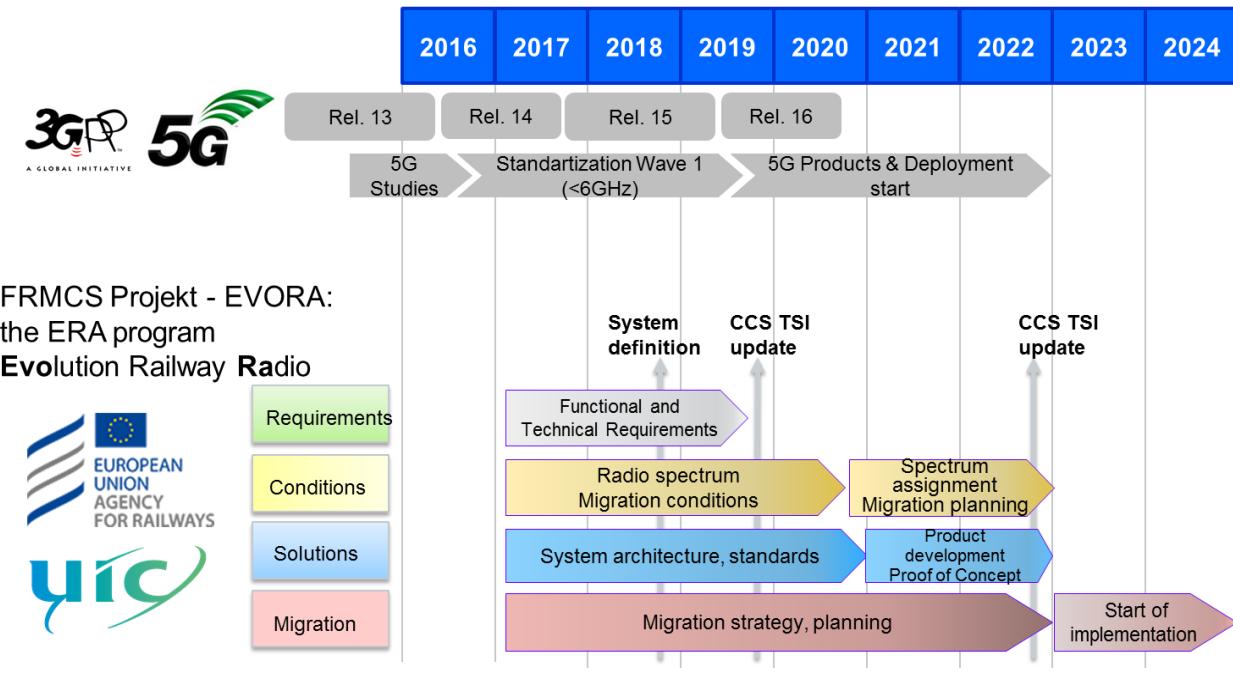


Abbildung 38: FRMCS (EVORA) Entwicklung basierend auf 3GPP-5G-Entwicklungsplanung, Quelle: ERA

FRMCS wird angesichts der Entwicklungsplanung, trotz auf LTE(-A) basierender anfänglicher Tests, auf 5G-ETSI-Standard basieren.

Innerhalb Europas zeichnet die UIC, in enger Kooperation mit anderen Institutionen, für die Entwicklung der FRMCS-Spezifikation verantwortlich.

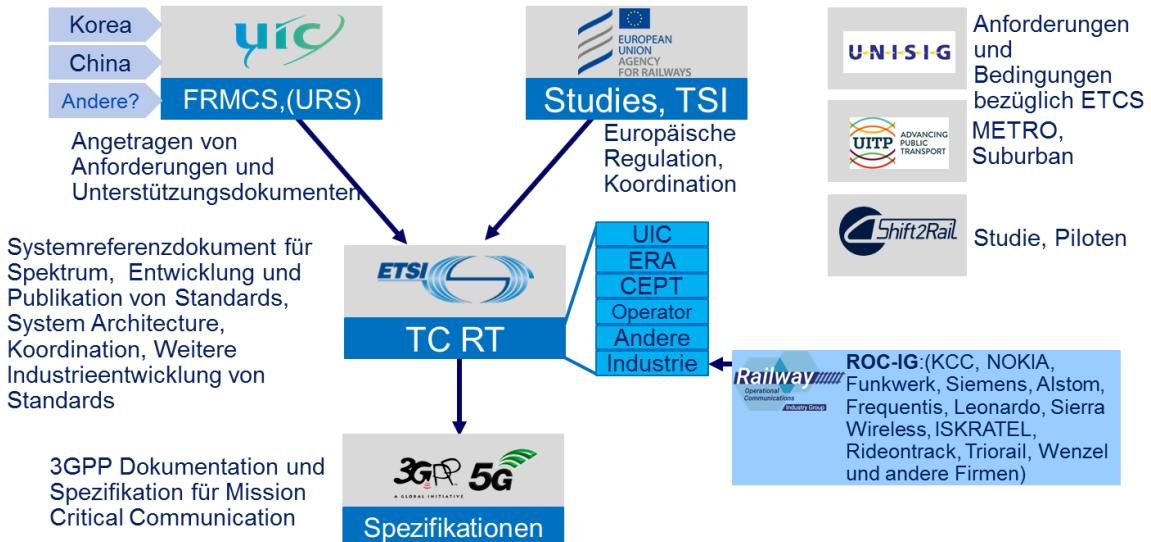
Die EU setzt im Rahmen der TSI CCS GSM-R voraus, die sowohl 2019 als auch 2022 im Rahmen der Teilsysteme Signal- und Zugsteuerungskommunikation überarbeitet werden sollen. Ein Bericht seitens ERA soll im Laufe 2018 an die EU-Kommission zur Systemdefinition übermittelt, welche sich mit Funktionalität, Technologie, Spektrum und Migration befassen.

Für die Annahme der TSI müssen alle Verkehrsministerien der verschiedenen Mitgliedstaaten ihre Beiträge liefern und zusammenarbeiten, wobei die Europäische Kommission den Vorsitz übernehmen soll, um sich auf einen endgültigen Text zu einigen.

Die Beteiligung europäischer Institutionen in Bezug auf FRMCS wird im folgenden Bild skizziert:

High Level Überblick über die beteiligten EU Bodies & Aktivitäten

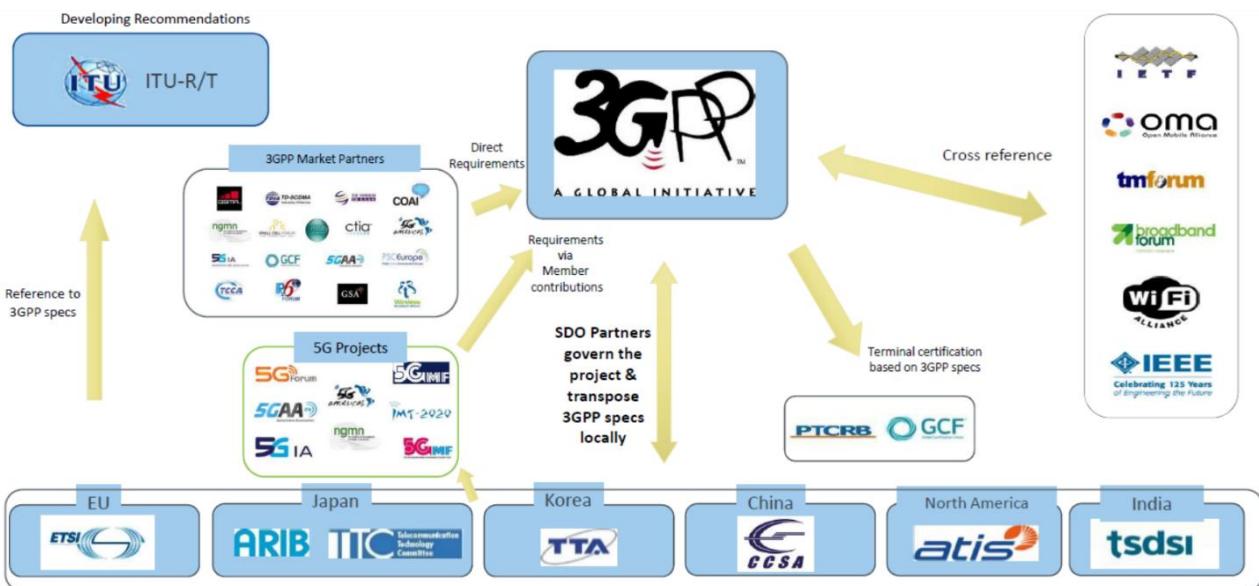
EU Agency for Railways: Koordination WP



Quelle: ERA, ETSI , UIC, GSM-R und FRMCS Industrie – ROC-IG

Abbildung 39: Beteiligung europäischer Institutionen an FRMCS-Spezifikationen, Quelle: ERA, ETSI, UIC und FRMCS Industrie – ROC-IG

Beteiligte an der Ausarbeitung und Koordination des 5G Standards



© ETSI 2018

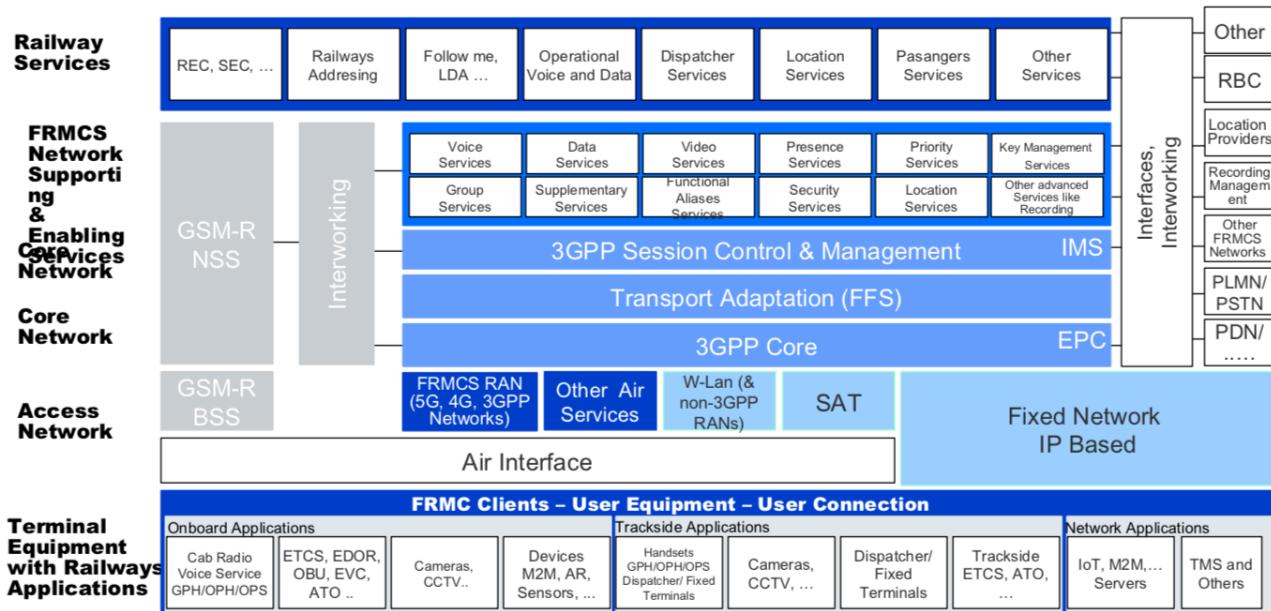
Abbildung 40: Erweiterte, weltweite 5G-Koordination, Quelle: ETSI

Erste Vorstellungen der FRMCS Technologiearchitektur

Die 5G/FRMCS Infrastruktur basiert auf einem gemäß ETSI 3GPP vollständig IP-basiertem Herzstück (Core). Dieses beinhaltet die für den Aufbau von Grund- und Kundendiensten notwendigen Hauptfunktionen. Darüber hinaus steuert es die für Kundenverbindungen auf Basis unterschiedlicher Zugangstechnologien, 3GPP und nicht-3GPP, notwendigen Anwendungen. Das 5G-Kernnetz (Core Network) soll drahtlose Anbindungen mit Technologien in lizenzierten und nicht lizenzierten Frequenzbändern ermöglichen, einschließlich der Anbindung des vorhandenen GSM-R-Netzes. Es stellt über verschiedene Schnittstellen mit allen anderen Netzwerken wie BASA oder PLMN, Knoten wie RBC oder Location Services, aber auch mit anderen FRMCS-Netzwerken Verbindungen zur Verfügung. Mittels niedriger oder höherer Netzwerkdienste werden FRMCS IP-basierende Bahndienste im Netzwerk-Slicing ermöglicht. Da sowohl Kernnetz wie alle anderen Netzsysteme IP-basierend sind, steht auf Grund der nicht blockierenden IP-Technologie genügend Kapazität nicht nur für Bahn- sondern auch für andere Dienste zu Verfügung. Dies ermöglicht Bahnen die Nutzung neuen Dienste für Bahnkunden und eine Erhöhung von Service und Komfort. In 5G-/FRMCS-Netzwerk werden auch Funktionen von "Critical Communication" eingebaut, welche die Implementierung unterschiedlicher Bahndienste ermöglichen. Kritische Bahndienste wie z. B. REC, SEC, ETCS L2/L3 oder auch ATO sowie erweiterte ERTMS-Funktionen werden sicher durch das FRMCS-Netzwerk bedient in dem das Netz die einzelnen Dienste mit entsprechend gewählter QoS in der Slicing-Funktion konfigurieren und zu Verfügung stellen kann.

In FRMCS werden die mobilen Geräte über drahtlose Anbindungen und unterschiedliche Technologien angebunden sein (das FRMCS-Netzwerk soll trägerunabhängig sein). FRMCS soll eine Anbindung von weitgehenden drahtlosen Technologien z. B. 5G, 4G, W-Lan, SAT, W-Max und auch andere Technologien ermöglichen. Feste Netzwerkendgeräte und andere Netzwerkapplikationen werden über ein IP-Netzwerk angebunden sein.

Vorschlag Ende-zu-Ende System Architecture mit Bahnspezifik Applikationsebene



Quelle: ERA, ETSI, UIC, GSM-R und FRMCS Industrie

Abbildung 41: Übersicht der FRMCS-Netzstruktur, Quelle: ERA, UIC, GSM-R- und FRMCS-Industrie

Netzwerk Slicing Funktion

FRMCS soll eine Netzwerk-Slicing-Funktion zum möglichen Aufbau eines logischen Teilnetzes für einen bestimmten, definierten Geschäftszweck implementieren. Das logische Netz besteht aus allen erforderlichen und konfigurierten Netz-Ressourcen. Der Slicing Dienst ist

- getrennt von den Kernnetz Managementfunktionen mit eigenen Managementfunktionen
- "Ende-zu-Ende" innerhalb eines Anbieternetzes
- Netzwerk-Slicing-Funktion ist ein Ressourcenkonfigurationssystem welche es ermöglicht die gewünschten Dienste zu konfigurieren
- Dienste können mobil und oder Festnetz sein
- Ressourcen können:
 - o physisch oder auch virtuell sein
 - o dediziert oder geteilt sein
- Dienste können unabhängig oder auch isoliert sein und Ressourcen teilen
- Dienste anderer Anbieter können integriert sein, z. B. zur Vereinfachung von Aggregation und Roaming

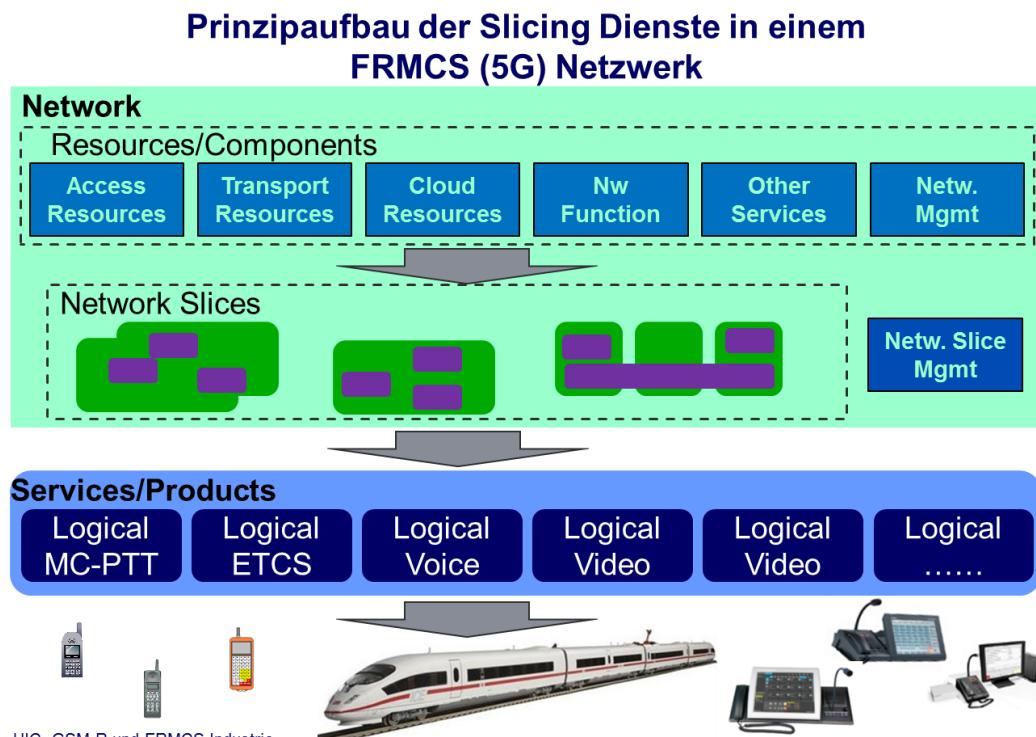


Abbildung 42: Grobstruktur der Slicing-Funktion

Frequenzplanung und Frequenzen in FRMCS

5G und das zukünftige FRMCS sind Breitbandtechnologien auf der Luftschnittstelle. Breitbandtechnologien nutzen dieselben Frequenzen (Wiederbenutzungsfaktor = 1) in jeder Basisstation zur Erzielung der maximalen Kapazität. Dies bietet jedoch die schlechtesten Interferenzbedingungen am Zellenrand, da das gesamte Frequenzspektrum ausnahmslos in allen Zellen genutzt wird. Ein besseres Interferenzverhalten bietet beispielsweise ein Faktor drei, indem das Frequenzband in drei Teile, jedes orthogonal zueinander, aufgeteilt wird. Ein besseres Interferenzverhalten geht hierbei zu Lasten der Kapazität. Fractional Frequency Reuse

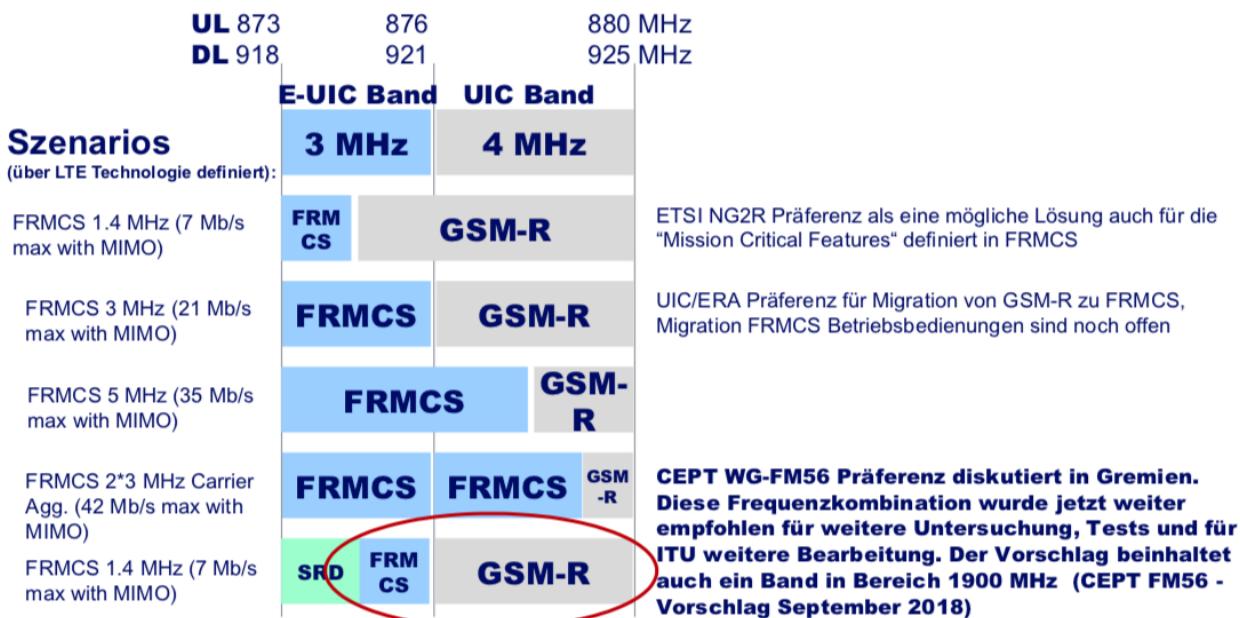
(FFR) stellt eine weitere Methode der Optimierung zwischen Interferenz und Kapazität dar. Eine der seitens der Applikationen geforderten QoS und Datenraten adäquate Strategie ist zu definieren. Das mobile Endgerät sendet entweder auf einer Frequenz oder, falls mehrere Frequenzen zusammengefasst sind, in dem entsprechenden Frequenzbündel. Die Art der Verbindung zwischen Basisstation und Endgerät wird vom Netz auf Basis von Signalpegel, Zellkapazität oder anderen Netzkriterien bestimmt.

Die Frequenzen für die GSM-R-Nutzung sind durch Institutionen koordiniert und vorgegeben. Sie können je nach Region, Land oder auch durch eine lokale Frequenzzuweisung abweichen. In Europa ist ein festes UIC-Band für UL 876-880 MHz und DL 921-925 MHz festgelegt und europaweit von lokalen Regulierungsbehörden akzeptiert. Das erweiterte GSM-R-E-UIC-Band in Europa umfasst die Frequenzen UL 873-876 MHz bzw. DL 918-921 MHz und wird gelegentlich in manchen Ländern für andere als Bahnkommunikation dienende Zwecke teilweise oder vollständig vergeben und zugewiesen, was eine Belastung hinsichtlich internationaler Interoperabilität bedeutet.

Parallel zu den im Jahr 2012 begonnenen Arbeiten und Spezifikationen für FRMCS finden Tests, Berechnungen, Abstimmungen und Sitzungen zur Koordination und Sicherstellung eines zusätzlichen Bandes für FRMCS mindestens für die Migrationsphase von GSM-R zu FRMCS statt. Die Tätigkeiten innerhalb Europas werden unter CEPT-Führung durchgeführt.

Stand September 2018 soll für eine Übergangsphase durch CEPT-WP56 Empfehlung zur übergeordneten Koordination mit ITU und andere Institutionen, ein dem UIC-Band hinzuzufügendes, erweitertes 1,6 MHz Band (einschließlich eines 200 kHz-Schutzbandes) verwendet werden. Das GSM-R bereits zugewiesene 4 MHz-Band soll davon unberührt bleiben. Mit Abschaltung von GSM-R könnte das volle 5,6 MHz-Spektrum von FRMCS verwendet werden. Dieses Szenario unterstützt die Wiederverwendung bestehender Infrastruktur und ermöglicht die gemeinsame Anordnung von GSM-R- und FRMCS-Basisstationen. Gleichzeitig ist eine Verwendung von 10 MHz (TDD) im unteren Teil des 1900-1920 MHz-Bandes denkbar. Beide Frequenzszenarien schließen sich gegenseitig nicht aus, so dass ein 1,6 MHz Band im 900 MHz-Bereich für kritischste Kommunikation mit dem zusätzlichen Band bei 1900 MHz für Hotspot-Bereiche bei höheren Datenraten ergänzt und für intensive Anwendungen nutzbar wäre. Weitere Frequenzbänder, z. B. 2290-2400 MHz sind in Abstimmung und werden auch innerhalb der CEPT noch als eine Alternative zu dem 1900 MHz Band untersucht.

Spektrum für FRMCS – Diskussion in Europa auf Ebene ETSI/UIC/ERA



Note: SRD - SHORT RANGE DEVICES, alle Überlegungen und Test basierend auf LTE Basis, da die 5G – FRMCS Technologie noch nicht zu Verfügung steht; die unterschiedliche Szenarien variieren durch Zeit und Test

Quelle: CEPT WG-FM56, UIC, ERA, ETSI

Abbildung 43: Szenarien für zukünftige FRMCS-Frequenzbänder, Quelle: CEPT-WG-FM56, UIC, ERA, ETSI

Im Falle der Frequenzbandausweitung müssen alle Applikationen für den Bahnbetrieb und Kunden müssen auf die neue FRMCS-Technologie umgerüstet werden.

Die Nutzung des gesamten 5,6 MHz-Bereichs innerhalb des 900 MHz-Bands (UIC-Band + 1,6 MHz) nach der Migration von GSM-R zum FRMCS ist noch in Untersuchung. Die endgültige Entscheidung hierüber erfolgt nach Bewertung aller betrieblichen, europäischen Bahnfunknutzungsdaten.

Eine Erweiterung der für FRMCS zur Verfügung stehenden Frequenzbänder hat für Frequenzen < 1 GHz faktisch nur geringe Auswirkungen auf die Funkausbreitung. Das für FRMCS entsprechend zu adaptierende Link-budget (Sendeleistungen und Empfängerempfindlichkeiten der Stationen und Endgeräte, Planungsmargen zur QoS für die jeweiligen Applikationen, neue Antennentechnologien MIMO usw.) kann die heutigen Versorgungsbereiche der einzelnen Funkzellen verändern. Für eventuelle neue Anwendungen in einem höheren Frequenzband ist eine grundsätzliche neue – gegebenenfalls örtlich begrenzte – Netztopologie erforderlich.

FRMCS-Sicherheit

Die Einführung von FRMCS wird zusätzliche Auswirkung auf die Sicherheit haben. Das gesamte FRMCS Netz ist IP-basierend und mit anderen Netzen und Funktionalitäten meist über eine IP Verbindung angebunden. Jedoch besitzt das 5G/FRMCS Netz bereits eine eingebaute, erweiterte Sicherheit innerhalb seiner Infrastruktur:

- Primary Authentication (5G Authentication and Key Agreement – Authentifizierung von Endgeräten)
- Secondary Authentication (Authentifizierung von Daten außerhalb des Mobilnetzes)
- Privacy (Die Identität des Mobilteilnehmers ist nur dem 5G-Netz bekannt)
- Service Based Architecture (SBA – zusätzliche Sicherheit durch die Service Architecture)

- Central Unit (CU) - Distributed Unit (DU) (Sicherheit auf Basis CU-DU-Interface)
- Key Hierarchy (Sicherheitsprinzip für Schlüssel Trennung)
- Mobility (Doppelte Sicherung durch separate Mobility Core Network Anchor und Security Anchor)

Für das sichere Betreiben und Nutzung von FRMCS sind jedoch nach Bedarf unterschiedliche erweiterte Maßnahmen vorzusehen. Diese Maßnahmen sind voll in der Verantwortung des Betreibers und können folgende Aktivitäten oder Installationen beinhalten:

- erweiterte Firewalls mit unterschiedlichen, erweiterten selbstlernenden Funktionen
- VPN Nutzung auch im Netzwerkrahmen
- die Verfolgung der Spezifikations- und Lieferantenempfehlungen bei der Netzwerkarchitektur
- das Netzwerk in Segmente teilen
- Ende-zu-Ende Applikationen sollten auch eine eigene Applikationssicherheit für Ende-zu-Ende beinhalten

Migration von GSM-R zum FRMCS

Im Rahmen dieser Studie ist nur grob die allgemeine Migration von GSM-R zum FRMCS beschrieben. Eine reale Migration für die S-Bahn Stuttgart kann nicht Bestandteil dieser Studie sein, da noch zu viele Unsicherheiten vorliegen.

Ende 2020 sollen die 5G-Spezifikationen beendet sein und für den Technologielieferanten zu Verfügung stehen. Nach 2020 wird 5G nur um weitere Sonderspezifikationen erweitert und der Mobilfunkmarkt könnte beginnen, 5G Netze breit auszurollen. Nach endgültiger 5G-Spezifikation wird die UIC die Spezifikation für FRMCS weiterentwickeln und planmäßig bis 2022 abschließen. Parallel zu diesen Spezifikationstätigkeiten werden auch die zukünftigen FRMCS-Technologielösungen validiert und getestet. Bis Ende 2022 soll dann die FRMCS-Spezifikation abgeschlossen sein und auch sämtliche rechtliche Anforderungen geklärt sein.

Das Migrationsfenster öffnet sich dann nach 2022. Für Bahnunternehmen wie die DB bedeutet dies:

- Ein bundesweites FRMCS-Aufbauprojekt mit den gesamten Ressourcen planen (Ressourcen- und Budgetplanung, Technologie, Testplanung, Rolloutfeinplanung, Rollout, Inbetriebsetzung, Abnahme, E2E-Tests, Zertifizierung und Betrieb, Schulungen, Fahrzeugumrüstung, Applikationstechnologie-Anpassung, Backbone-Anpassung, weitere Systemanpassungen, Funk- und Festnetzanpassungen, Inter- und Intraanbindungen anpassen, usw.)
- Alle vorhandenen Applikationen für die Migration zur neuen FRMCS-Technologie vorbereiten (Ressourcen- und Budgetplanung, Lastenhefte, Pflichtenhefte, allgemeine Spezifikationen, Applikations-spezifikationen, Implementierung, Testen, Inbetriebnahme und Validierung)
- Migrationskonzept und -planung ausarbeiten für ein bundesweites Migrationsprojekt (Ressourcen- und Budgetplanung, Konzepte und Vorgehen für eigene Migration, Feinplanung für die Migration, Parallelbetrieb GSM-R und FRMCS, Rückfallprozesse, Bahnkommunikation Migration, Applikations-migration, räumliche Migration, Migrationsvalidierung)
- Nationale und internationale Koordination von FRMCS-Einsatz (Ressourcen- und Budgetplanung, Nationales Roaming an die neue Technologie und Interconnection anpassen, Koordination mit Nachbarländern und deren Technologie)

- Abschaltung und Zurückbauen von veralteten Technologien und Erweiterung von FRMCS auf die freiwerdenden Ressourcen (Ressourcen- und Budgetplanung, Abschaltkonzept, Rückbaukonzept, Entsorgungskonzept, Erweiterung von FRMCS-Diensten auf die freiwerdenden GSM-R Ressourcen wie z. B. Übertragungswege, Frequenzen usw.)

2.2.9 Bewertung der GSM-R-Verkehrs- und Kanalkapazitäten

2.2.9.1 Realisierbarkeit einer Frequenzplanung auf Basis der erforderlichen Kapazitäten

Der Untersuchungsbereich ist hinsichtlich der Anforderungen an die Frequenzplanung durch unterschiedlichste Streckenbereiche charakterisiert, im Besonderen:

- Linienversorgung im „abgeschotteten“ Tunnel bei optional unterschiedlichen Versorgungskonzepten
- Freifeld-Linienvorschlag und -Streckenverzweigungen

In Bereichen mit Mischverkehr ist das GSM-R-Band für alle Verkehre zu nutzen. Frequenzen müssen und können auf Grund des für GSM-R begrenzten Spektrums wiederverwendet werden. Die jeweils mögliche Frequenzwiederbenutzung k wurde in Abschnitt 2.2.2.3 beschrieben. Die Anwendung eines Wiederbenutzungsfaktors k höher (im Sinne des Zahlenwertes) als notwendig impliziert einen Frequenzplan höherer Güte verbunden mit geringerer Interferenzwahrscheinlichkeit.

Gemäß den kapazitiven Bedarfen aus Abschnitt 2.2.2.7 sind auf den unterschiedlichen Streckenbereichen des Untersuchungsgebiets je Funkzelle überwiegend 2 TRX, in seltenen Einzelfällen 1 oder 3 TRX erforderlich. Basierend auf exemplarisch 8 Frequenzgruppen und drei verbleibender „Joker“-Frequenzen lässt sich ein Frequenzplan erstellen, der die Anforderungen hinsichtlich Frequenzwiederbenutzung, und damit die Qualitätsanforderungen, unter allen Versorgungskonzepten erfüllt.

Es sind hierbei – individuell je Funkzelle – die örtlichen Gegebenheiten wie Topografie, bauliche Trennung im Bereich der Tunnel Stammstrecke und Hasenberg sowie die Besonderheiten des Koppelnetzes bei der Option Schlitzkabel zu berücksichtigen. Diese erlauben:

- lokal die Wiederbenutzung von Nachbarfrequenzen in der Nachbarzelle
- lokal die Wiederbenutzung von Gleichkanalfrequenzen in der übernächsten Funkzelle
- eine ausreichende Anzahl von Frequenzen für den neuen Stuttgarter Hauptbahnhof

Nur durch diese örtlich spezifischen und unterstützenden Randbedingungen ist die Realisierbarkeit eines Frequenzplans für alle Verkehrsträger unter ETCS L2 im Untersuchungsgebiet bei den verkehrlichen Anforderungen realisierbar.

Eine Reduzierung der Anzahl aktiver TRX (Frequenzen) im Bestandsnetz auf das verkehrlich notwendige Maß, insbesondere auf den tangierenden Strecken 4720 (S-Untertürkheim – Kornwestheim) und 4860 (Panoramabahn im Bereich S-Nord – S-Österfeld) ist zu prüfen und umzusetzen. Die heutigen Funkzellen S- Hbf Rafu, S-Rosensteintunnel und S-Nord / Eckartshaldenweg sind abzuschalten.

Eine Reserve für die Einbringung weiterer aktiver Frequenzen, insbesondere im Freifeld, ist ohne Abstriche an die geforderte Netzqualität nicht gegeben

S	E	E	E	E	E	E	E
S	E	E	E	T	T	T	T
S	E	E	T	T	T	T	T

1	3	A
5	7	B
9	11	C
13	15	D
2	4	E
6	8	F
10	12	G
14	16	H
17	18	19
		J

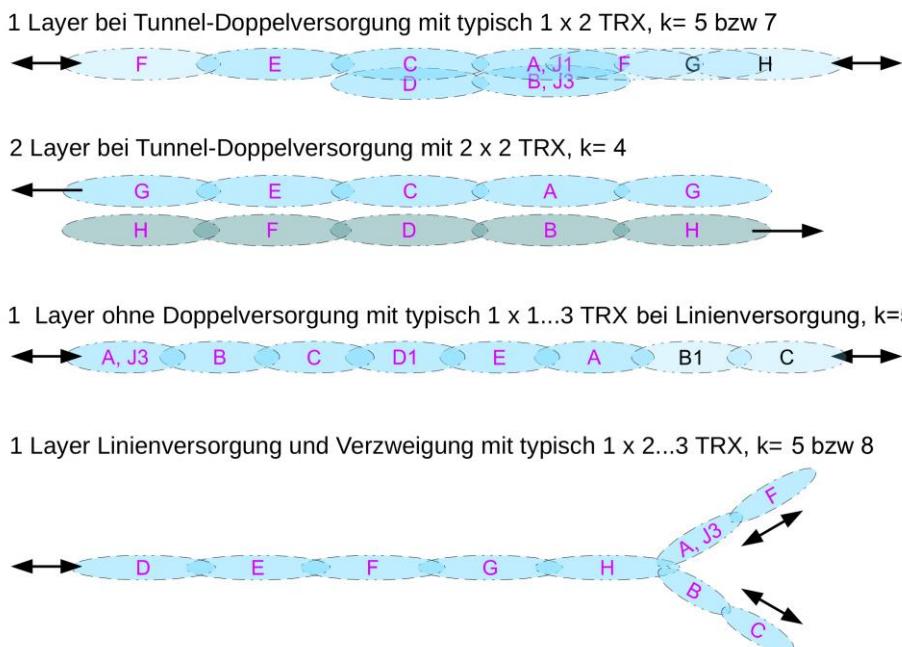


Abbildung 44: Beispielhafte Frequenzgruppen und deren Anordnung in exemplarischen Streckenbereichen und Versorgungskonzepten

Eine Funkzelle kann mehrere Frequenzen bzw. Sende- und Empfangseinheiten TRX umfassen. Jede Trägerfrequenz ist in 8 Zeitschlitzte unterteilt. Diese werden für unterschiedlichste Nutzdaten bzw. zur notwendigen Signalisierung entsprechend konfiguriert. In obiger Darstellung symbolisieren: S – Signalisierung, E – ETCS-Datenfunk, T – TCH-Sprachfunk, 1...19 die symbolischen GSM-R-Frequenzkanäle, A...J mögliche Frequenzgruppen.

Die dargestellte, exemplarische Zeitschlitzkonfiguration ist im Rahmen der detaillierten Funknetz-Entwurfsplanung unter Berücksichtigung der realen Zellgrößen und in Abstimmung mit dem Systemlieferanten zu verfeinern.

Nutzung von E-GSM-R-Frequenzen

Auf Grund nicht spezifizierter Interoperabilität und eingeschränkter Nutzbarkeit bei älteren EDORS kann E-GSM-R lediglich punktuell eine Option sein, beispielsweise in Bereichen in denen ausschließlich S-Bahnverkehr (Tunnel Stammstrecke) oder Wartung stattfindet. Eine dahingehende detaillierte Prüfung wäre bei nachgewiesenen Kapazitätsengpässen durchzuführen. Die E-GSM-R-Frequenzen sind überdies für die Migration hin zu FRMCS in Diskussion und stehen daher im Zielkonflikt mit einer zukünftigen Nutzung ausschließlich für GSM-R. Im Bedarfsfall sind die zeitlichen Abhängigkeiten zu klären und gegenseitig abzuwägen.

2.2.9.2 Layer Single Coverage mit / ohne Doppelversorgung

1 Layer mit / ohne Doppelversorgung mittels konventioneller Antennen (Option A)

Die Frequenzwiederbenutzung nach drei bis fünf Funkzellen / Standorten ist je nach örtlicher Gegebenheit möglich. Eine durchgängige Doppelversorgung ist unwahrscheinlich.

1 Layer mit / ohne Doppelversorgung mittels Schlitzkabel (Option B)

Eine Frequenzwiederbenutzung nach fünf Standorten (Doppelversorgung mit lokaler BTS-Redundanz, B2) beziehungsweise nach zwei Funkzellen (ohne Doppelversorgung, B1) ist unter den gegebenen Randbedingungen möglich. Eine Doppelversorgung ist bezüglich der Frequenzwiederbenutzung unschädlich sofern die geplanten Zellwechsel sichergestellt und die Frequenzplanung dem Ausfall einer BTS durch geeignete Maßnahmen Rechnung trägt.

2 Layer mit Doppelversorgung mittels Schlitzkabel (Option C)

Für den theoretischen Fall eines zweiten BTS-Layers am jeweils selben Standort (Option C) ist eine Frequenzwiederbenutzung nach bereits vier Zellen erforderlich, unabhängig ob sich die BTSn in Tunneln oder außerhalb im funktechnischen Freifeld befinden. An jedem BTS-Standort wären vier aktive Frequenzen erforderlich. Nur in der Tunnelumgebung würde dies ein geringfügig reduziertes C/Ic implizieren und daher einen zweiten BTS-Layer auch nur dort zulassen. Wesentliche Vorbehalte und Restriktionen, die ein solches Design für die Stuttgarter S-Bahn als nicht empfehlenswert bewerten, sind:

- Eine jeweils gedoppelte BTS S-Mitnachtstraße und S-Bad Cannstatt ist faktisch nicht möglich, da jeweils vier aktive Frequenzen im Freifeld Richtung Nordbahnhof bzw. Bad Cannstatt eine ökonomisch notwendige Frequenzwiederbenutzung einschränken. Durch ein geringeres C/I ist eine signifikante Reduzierung der GSM-R-Netzqualität zu erwarten.
- Ein 2-Layer-Design wäre ausschließlich auf die Tunnelbereiche zu beschränken.
- Die erhöhte Komplexität der Parametrisierung und Pflege der systemrelevanten Datensätze sowie schwierige Diagnosen im Fehlerfall
- Das Risiko von Ping-Pong-Zellwechsel und Wiedereinwahl zwischen den beiden Layern verbunden mit wiederholten Unterbrechungen der Datenübertragung
- Verzögerte Inter-BSC-Zellwechsel bei alternierender Anbindung der BTSn an unterschiedliche BSCn
- Die Doppelung der Systemelemente (BTS) ist für die geforderte Verfügbarkeit von 99,992% je BTS in einer streckenbezogenen Betrachtung nicht erforderlich.

2.2.9.3 Reaktion bei Änderung der Eingangsgrößen, Reserven

Der Bewertung hinsichtlich GSM-R-Verkehrs- und -Kanalkapazitäten liegen neben den in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Anforderungen sowie einem optionalen Funknetzdesign nach Kapitel 2.2.3.2 insbesondere die Eingangsgrößen gemäß Abschnitt 2.2.2.7 zu Grunde. Jede Änderung der Bewertungsgrundlagen impliziert eine mögliche Änderung der Ergebnisse und deren Bewertungen in unterschiedlichem Grade.

Wesentliche Variation, Parameter	Auswirkung auf Ergebnis und Bewertungen
Funknetzdesign	hoch
QoS-Anforderungen	gering
Frequenzen	hoch
Störfallszenario	hoch
Takt	gering

Wesentliche Variation, Parameter	Auswirkung auf Ergebnis und Bewertungen
Betriebliche Reaktionszeit	hoch
Blockabstand	moderat

Mit den definierten Anforderungen und Eingangsgrößen ergibt sich eine Auslastung der individuellen Funkzellen gemäß Abbildung 45.

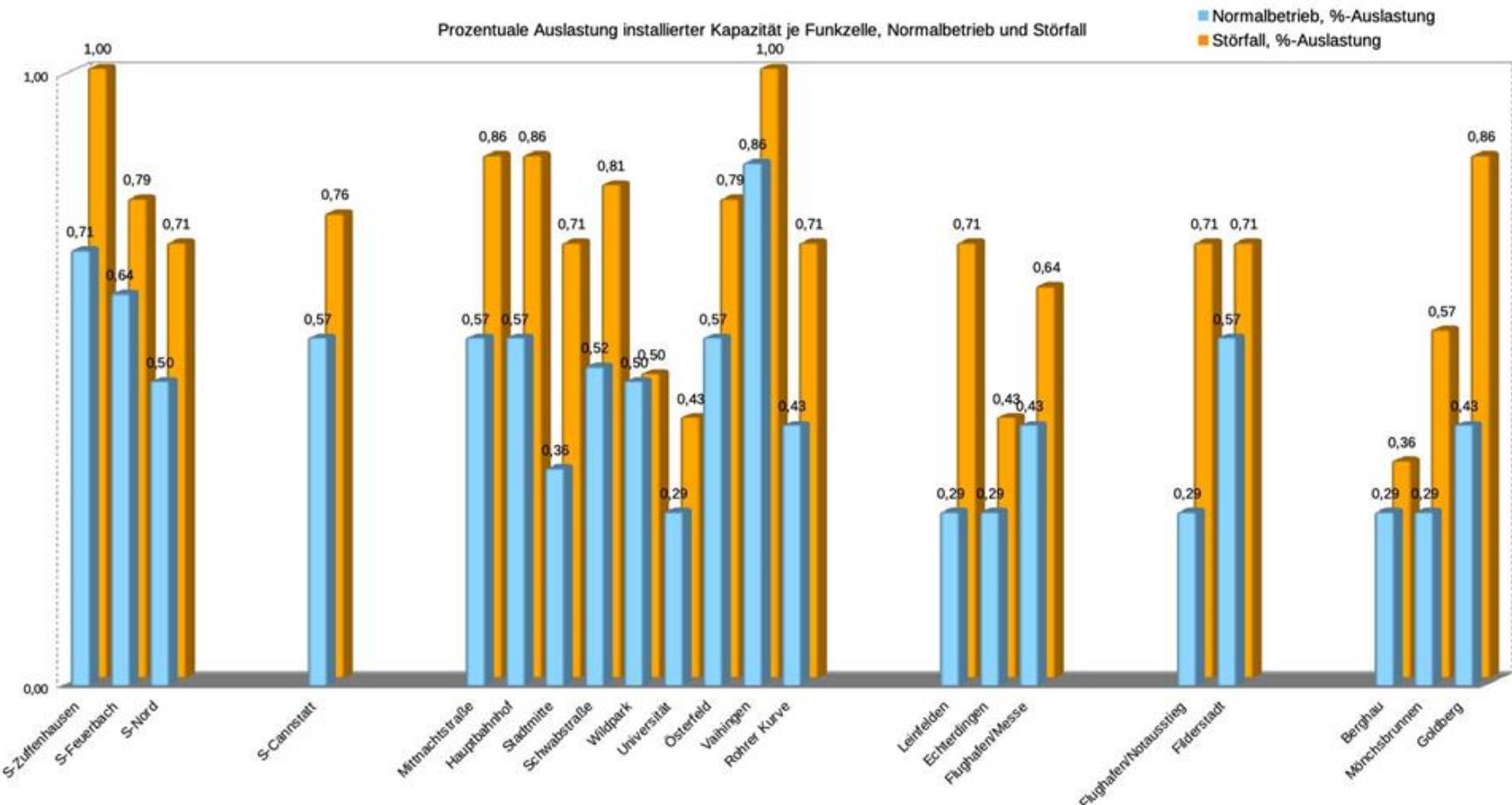


Abbildung 45: Verkehrsbelastung bzw. Reserven in einem optimierten Funknetzdesign

Es ergeben sich durchschnittliche Reserven in einem optimierten Funknetzdesign von ca. 30% im Störfall beziehungsweise ca. 55% im Normalbetrieb.

Eine vollständige Auslastung einer Funkzelle im Störfall beinhaltet bis zu fünf Zeitschlitzte (Kanäle) für Nicht-ETCS-Sprach- und -Datenverkehr. Im Störfall können diese Ressourcen auf Grund der Priorisierung von ETCS zusätzlich genutzt werden. Sprachkommunikation ist gegebenenfalls mittels Gruppenruf durchzuführen. Im unwahrscheinlichen Fall einer Rufblockierung auf Grund 100%iger Nutzung aller verfügbaren Zeitschlitzte seitens ETCS sind - nach messtechnischer Verifikation – individuelle und mit dem GSM-R-Lieferanten abzustimmenden SW-Konfigurationen und -Maßnahmen abzustimmen und auf ihre Verfügbarkeit und mögliche Einführung zu prüfen. Komplexe SW-Konfigurationen sind gegenüber einfachen operativen Handlungsempfehlungen, beispielsweise Roaming für Sprachfunk in Ausnahmesituationen, sorgsam abzuwägen.

2.2.9.4 GPRS

Aus Gründen der Verkehrs- und Kanalkapazitäten ist somit kein GPRS notwendig. Überdies lässt sich feststellen, dass folgende qualitative Gründe gegen eine Einführung von GPRS sprechen:

- CSD ist im bitfehlerfreien Fall schneller als GPRS, jedoch werden Fehler erst in der ETCS-Applikation erkannt und behandelt
- Eine Unterbrechung der Verbindung wird unter GPRS von der Applikation später erkannt als unter CSD
- CSD im Zellwechsel aktuell deutlich schneller und in der Laufzeit zuverlässiger
- GPRS-Kapazitätsvorteile sind absehbar nicht für reines ETCS erforderlich

2.2.9.5 Begleitende Empfehlungen

Im Folgenden sind einige übergreifende Handlungsempfehlungen ausgeführt, die im Rahmen einer Umgestaltung und Optimierung des GSM-R Netzes als wichtig und notwendig erachtet werden:

- Projektierung und Budgetierung einer ausreichenden Zeitspanne für Funknetz-Optimierungen durch notwendige iterative Parametrisierung und nachfolgende Verifikationen mittels Messfahrten.
- Die Dimensionierung von Verkehrskapazitäten beruht auf Modellen von Fahrplänen und einem Störfallszenario. Die tatsächlichen Werte können im Wirkbetrieb hiervon abweichen bzw. sich zukünftig anders entwickeln. Eine regelmäßige Beobachtung der Verkehrslasten bzw. Zeitschlitzbelegung in den einzelnen Funkzellen durch messtechnische Aufzeichnungen ist unerlässlich. Die Installation zusätzlicher Kapazitäten ist erst nach verifizierter wiederholter Vollauslastung empfohlen.
- Zellwechsel lassen sich durch die spezifischen Eigenschaften des Funkfeldes im Vergleich zu ortsfesten Einrichtungen (wie z. B. Balisen) nicht punktgenau festlegen jedoch in einem begrenzten Maße verschieben. Eine Prognose und Umsetzung ist bei Schlitzkabellösungen einfacher und genauer als bei konventionellen Antennenlösungen. Planerische GSM-R-Zellwechselbereiche im Rahmen der Studie sind als ungefähre Vorgabe dahingehend zu interpretieren, dass in diesen Bereichen keine ETCS-kritischen Anwendungen auftreten. Ein Abgleich im Rahmen der Projektplanung mit ETCS ist herbeizuführen. Ein Sicherheitsbereich von +/- 100 m wird allgemein als ausreichend erachtet.
- Die Realisierbarkeit der S-Bahn Stuttgart unter ETCS und unter den geforderten Randbedingungen bedingen Änderungs- und Optimierungsmaßnahmen am bestehenden GSM-R-Netz unter teilweiser Stilllegung heute bestehender Funknetzinfrastrukturen.

Für den Fall der Inbetriebnahme der S-Bahn Stuttgart unter ETCS zeitlich vor Stuttgart 21 ist eine geeignete Umschalt- bzw. Migrationsstrategie zu erarbeiten. Hierbei kommen den existierenden Basisstationen S-Hbf Rafu und S-Nord / Eckartshaldenweg fundamentale Bedeutung zu. Die Funkversorgung ist durch geeignete Maßnahmen auf den dann unbedingt notwendigen Bereich zu beschränken, die installierte Kapazität mit den entsprechenden Funkfrequenzen weitestgehend zu reduzieren. Gegebenenfalls sind für den Übergangszeitraum der Migration temporär, z. B. die für den Zielzustand in S – Bad Cannstatt dimensionierte dritte TRX für eine zeitlich noch befristet in Betrieb zu haltende, teilweise rückgebaute Basisstation S-Hbf Rafu zu nutzen.

- Die Anzahl der RBC ist aus Gründen der begrenzten Funkkanalkapazität auf die absolut notwendige Anzahl zu begrenzen.

2.2.9.6 Projektrisiken

In Rahmen des Projektes waren die potenziellen Risiken auf die Ebene Projekt, GSM-R-Radioplanung und Netzwerkinfrastruktur grob bewertet.

2.2.9.6.1 Allgemeine Projektrisiken – Telekommunikationsanteil

Die Allgemeinen Projektrisiken sind meistens Risiken, welche übergreifend auf die S-Bahn Stuttgart Einfluss haben können.

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
Migration GSM-R→FRMCS für S-Bahn wurde nicht rechtzeitig durchgeführt	Die Implementierung und der Rollout von FRMCS-Anlagen werden sich verspäten oder auch verlängern	Erhöhte Kosten für längere Zeit und für erweiterte Koordination	Realistischen Projektplan aufstellen und einhalten	Die Prozesse und Milestones in das Projektplan regelmäßig mit der Projektrealität, notwendig zu garantieren eine GSM-R-Betriebserweiterung bis Migration	*
GSM-R/FRMCS-Projekt für S-Bahn Koordination mit anderen in den Bereich laufenden Projekten	Es könnte passieren Mehrarbeiten, Doppelinvestitionen entstehen, mit erschwerter Inbetriebnahme	Der Preis könnte sich erhöhen wegen kleiner, falscher oder nicht ausreichender Koordination über mehreren Projekten	Umfassende Koordination mit allen Projekten in Bereich S-Bahn Stuttgart durchzuführen	Mehr Fokus und Leistungen in die Koordination zwischen Projekten einkalkulieren	**
GSM-R/FRMCS-Migrationsphase	Verspätete Migration auf FRMCS-Dienste wegen nicht ausreichender Planung für die GSM-R/FRMCS-Migrationsphase	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Realistischen Projektplan aufstellen und einhalten	Mehr Fokus und Leistungen in dem GSM-R/FRMCS-Migrationsphase einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**
FRMCS-Fahrzeugumrüstung	Die notwendigen Fahrzeuge werden nicht rechtzeitig umgerüstet	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Ein realistisches Projektplan für Endgeräteumrüstung erzeugt und der Plan verfolgen	Mehr Fokus und Leistungen in dem Umrüstungsprojekt einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**
Migration zum FRMCS	Verspätete Migration auf FRMCS Dienste wegen fehlender Infrastruktur oder Infrastrukturfunktionen	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Realistischen Projektplan für FRMCS-Migration aufstellen und einhalten	Mehr Fokus und Leistungen in dem FRMCS-Migration einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
Anpassung von Applikation auf FRMCS	Verspätete Migration auf FRMCS-Dienste wegen verspäteter Anpassung von Applikation auf FRMCS	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Realistischen Projektplan für Anpassungen von Applikationen an FRMCS aufstellen und einhalten	Mehr Fokus und Leistungen in der Anpassung von Applikation auf FRMCS einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**
Genehmigung für angepasste Applikation auf FRMCS	Verspätete Migration auf FRMCS Dienste wegen verspäteter Genehmigung für angepasste Applikation auf FRMCS	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Realistischen Projektplan für Genehmigung der angepassten Applikation an FRMCS aufstellen und einhalten	Mehr Fokus und Leistungen in der Genehmigung für angepasste Applikation auf FRMCS einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**
Personalschulung auf die Nutzung von FRMCS	Verspätete Migration auf FRMCS-Dienste wegen verspätete Personalschulung auf die Nutzung	Verschiebung oder erhöhte Kosten bei Migration zum FRMCS	Realistischen Projektplan für Personalschulung zur Nutzung von FRMCS aufstellen und einhalten	Mehr Fokus und Leistungen in der Personalschulung auf die Nutzung von FRMCS einkalkulieren und auch die Verfolgung durchzuführen	**
Frequenzen FRMCS	Keine oder verspätete Lizenz für FRMCS-Frequenzen	Verzögerte Migration und Einführung von FRMCS, Weiterführung GSM-R mit möglichen Einschränkungen	Verfolgung und Teilnahme am Vergabeprozess Frequenzen	Verfolgung Frequenzmanagement innerhalb des DB Konzernes	**
Planungs- und Projektierungspersonal mit FRMCS-Kenntnissen	Die GSM-R →FRMCS-Migration wird sich verzögern durch fehlendes Knowhow	Migration wird sich verzögern durch fehlendes Knowhow bei Planung und Projektierung	Rechtzeitig die entsprechenden Mitarbeiter schulen auf die FRMCS-Technologie und auch die externen notwendigen Quelle von Kenntnisträger sichern	Das FRMCS-Technologieentwicklung verfolgen, die Leute auf die Technologie schulen, externe Lieferanten zusichern	

2.2.9.6.2 Allgemeine Technologie- und Implementierungsrisiken

Das S-Bahn-Stuttgart-ETCS-L2 wird gerade während eines Technologiegenerationswechsels implementiert. Gleichzeitig sind die ETCS-L2-Technologien immer mehr beeinflusst durch längere Zeiten welche ETCS-L2-Anlagen brauchen zu der Installation, Inbetriebnahme, Validierung, Akzeptanz, Zertifizierung, Migration und Inbetriebsetzung. Der Technologiegenerationswechsel vergrößert die Anforderungen an das Projekt. Die folgende Tabelle beinhaltet nur die Hauptrisiken, welche zur Erzeugungszeit der Studie identifiziert werden konnten. Das übliche Risikomanagement muss dann durch Ablauf des S-Bahn Projektes richtig abgewickelt werden.

Tabelle 38: Definition möglicher Technologie- und Implementierungsrisiken GSM-R/FRMCS

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
ETSI-5G-Spezifikation (erwartende Basis für das FRMCS)	Die 5G-Spezifikation wird nicht rechtzeitig abgeschlossen oder die notwendige Spezifikations-teile werden nicht rechtzeitig abgeschlossen	Verschiebung von technologi-scher Validierung und PoC. Die FRMCS-Spezifikation, Validie-rung und PoS sich verschiebt. Verspätung von FRMCS-Imple-mentierung in die S-Bahn Stutt-gart Netzwerk.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Ro-buste Interimslösungen im Projektbudget ein-planen.	*
ETSI-5G-Spezifikation (erwartende Basis für das FRMCS)	Teilspezifikation von "Public Sa-fety" oder anderen wichtigen Diensten wie z. B. „Voice“ wer-den nicht rechtzeitig abgeschlos-sen	Verschiebung von technologi-scher Validierung und PoC. von "Public Safety"-Diensten. Die FRMCS Spezifikation, Validie-rung und PoS sich verschiebt. Verspätung von FRMCS-Imple-mentierung in die S-Bahn Stutt-gart Netzwerk.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Ro-buste Interimslösungen im Projektbudget ein-planen.	*
FRMCS-Spezifikation	Die FRMCS SRS, FRS und weitere unterstützte Spezifikationen werden nicht rechtzeitig abge-schlossen	Die FRMCS-Validierung und PoS verschiebt sich. Ver-spätung von FRMCS-Implemen-tierung im Netz der S-Bahn Stuttgart.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Ro-buste Interimslösungen im Projektbudget ein-planen.	*

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
FRMCS-Spezifikation	Die Umsetzung von "Public Safety" Diensten wird mehr Zeit Brauchen	Die FRMCS-Validierung und PoS sich verschiebt. Verspätung von FRMCS-Implementierung in die S-Bahn Stuttgart Netzwerk.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	*
FRMCS-Spezifikation für Migration	Die Umsetzung von notwendige Technologieeigenschaften werden nicht ausreichend vorgeschrieben, trotzdem sollte das FRMCS "Bearer"-unabhängig sein	Die Migration zum FRMCS könnte mehr kosten durch notwendige zusätzliche Migrationsinvestitionen	Die Entwicklung von FRMCS-Spezifikationen und Forderungen verfolgen und auch die Investitionen der Richtung FRMCS steuern	Die bei der S-Bahn Stuttgart Investitionen Richtung IP und moderne Telekommunikationsnetzwerke steuern und auf 5G/FRMCS sich vorbereiten. Die Migrationsforderungen DB AG verfolgen und mitsteuern.	**
FRMCS-Infrastruktur Technologie	Lieferanten werden nicht rechtzeitig die 5G (Hauptkandidat) / FRMCS umsetzen und implementieren	Möglicheres FRMCS-Netzwerk Rollout verschiebt sich.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	*
FRMCS-Infrastruktur Technologie	Wird nicht genug Lieferanten sein die 5G (Hauptkandidat) / FRMCS umsetzen (z. B. nur ein Lieferant)	Der FRMCS-Netzwerkpreis könnte sich erhöhen.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Investment mit Risikozuschlag in Netzwerkbudget kalkulieren.	**
FRMCS-Endgeräte Technologie	Lieferanten werden nicht rechtzeitig die 5G (Hauptkandidat) / FRMCS in Endgeräten umsetzen und implementieren (z. B. "Public Safety"-Dienste)	Mögliche Nutzung des FRMCS-Netzwerks verschiebt sich.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	**

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
FRMCS-Endgeräte Technologie	Wird nicht genug Lieferanten sein die 5G (Hauptkandidat) / FRMCS umsetzen (z. B. nur ein Lieferant mit "Public Safety" Diensten)	Mögliche FRMCS-Endgerätepreis sich erhöht.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	In das Investment mit Risikozuschlag in Endgerätebudget rechnen	*
Die DB AG interne FRMCS Vorschriften	Die DB AG interne FRMCS-Nutzungsvorschritte werden nicht rechtzeitig zu den Schulungen und Nutzung fertiggestellt	Mögliche FRMCS-Netzwerkrollout und Netzwerknutzung sich verschiebt.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzte Interimslösungen relativ robust Auslegen, dass die das Betrieb ausreichenden Zeit unterstützen können. Für robuste Interimslösungen in Projektbudget rechnen.	**
FRMCS-Funktionalitäten Technologie / Endgeräte	Die "Public Safety" Diensten werden einer nach dem anderen durch paar Jahren ausgerollt	Mögliche FRMCS-Netzwerkrollout und Netzwerknutzung sich verschiebt.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	**
FRMCS-Netzwerkkonfiguration und -Funktionalitäten der DB AG	FRMCS-Netzwerkkonfiguration und Funktionalitäten der DB AG werden viel langsamer und mit viel höheres Aufwand in das neue Netzwerk übertragen und wie ein Gesamtsystem abgenommen	Mögliche FRMCS-Netzwerkrollout und Netzwerknutzung sich verschiebt.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	**
FRMCS-Frequenzen	Die FRMCS-Frequenzen werden nicht rechtzeitig definiert, international, koordiniert und oder freigegeben	Mögliche FRMCS-Netzwerk Rollout verschiebt sich.	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzte Interimslösungen relativ robust Auslegen, dass die das Betrieb ausreichenden Zeit unterstützen können. Für robuste Interimslösungen in Projektbudget rechnen.	**

Bereich	Risiko	Auswirkung	Risikobeseitigung	Projekt Stuttgart Maßnahmen gegen die möglichen Risiken	Bewer-tung
FRMCS-Frequenzen	Werden keine FRMCS-Frequenzen Nutzung freigegeben für die Migrationsphase GSM-R →FRMCS	Mögliche FRMCS-Netzwerk Rollouterschwerin	Kein direkter Einfluss von S-Bahn Stuttgart auf das Risiko	Die bei der S-Bahn Stuttgart eingesetzten Interimslösungen sind robust auszulegen, damit sie den Betrieb stabil unterstützen können. Robuste Interimslösungen im Projektbudget einplanen.	*

2.2.9.7 Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Verbesserung der Betriebsqualität

Die Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Verbesserung der Betriebsqualität beinhalten Empfehlungen für die Arbeiten bei der Projektimplementierung S-Bahn Raum Stuttgart.

Tabelle 39: Vorschläge zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von GSM-R zur Stabilisierung des Fahrplans

Gebiet	Empfehlung	Auswirkung	Bewertung
Planungsvorschriften für das Gebiet der S-Bahn Stuttgart	Empfehlungen aus der Studie in Bereichen Radioplanung und Festnetz prüfen und intern diskutieren. Die angenommenen Empfehlungen einarbeiten in die internen Planungsvorschriften für die S-Bahn Stuttgart. Alle Mitarbeiter der Funknetzplanung mit den adaptierten Planungsvorschriften bekanntmachen.	Alle Mitarbeiter wissen unter welche Rahmenbedingungen und mit welchen Werkzeugen sie arbeiten sollen. Die Planungsergebnisse sollten dann die erwartete Qualität haben.	***
Radioabdeckung Planung S-Bahn Stuttgart Raum	Planen nach den vereinbarten Planungsvorschriften mit vereinbarten Planungswerten ohne Ergebniskompromisse. Der Aufbau von BTSn für die S-Bahn-Abdeckung soll präzise wie möglich den Planungsergebnisse folgen, damit die Abdeckung so genau wie möglich den Planungsergebnissen entspricht.	Die Radioabdeckung ist ohne Kompromisse zu installieren, damit die Ergebnisse voll der gewünschten hochwertigen Abdeckung entsprechen.	***
Abdeckung Optimieren S-Bahn Stuttgart Raum	Die Radioabdeckung sorgfältig mehrmals messen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen und von beiden Seiten (hin und zurück) und mit Messdaten ein hochwertiges Streckenband erzeugen. Nach	Bei Netzwerkoptimierung werden die wichtigen Netzwerkbetriebsparameter wie z. B. Handover an den richtigen Stel-	***

Gebiet	Empfehlung	Auswirkung	Bewertung
	Abdeckungsoptimierung die hochwertigen Messungen wiederholen bis die Messergebnisse der gewünschten Abdeckung entsprechen.	len wo er den Bahnbetrieb am wenigsten stört, optimal gesetzt. Die richtige Zellgrößen helfen auch bei hochwertigem fließenden Bahnbetrieb	
Netzwerkstruktur Optimieren	Alle Netzwerkstrukturen, Netzwerkkapazitäten und Netzwerkparameter prüfen und optimieren auf den ETCS-L2-Betrieb.	Optimale Netzwerkstrukturen, Netzwerkkapazitäten und Netzwerkparameter werden einem reibungslosen S-Bahn-Betrieb dienen.	
Redundanz erhöhen	Im S-Bahn Stuttgart Raum alle GSM-R Netzwerkstrukturen auf mögliche Redundanzerhöhung prüfen. Vernünftige Redundanzerhöhungsmöglichkeiten dann einplanen und installieren	Die Redundanzerhöhung erhöht die GSM-R-Dienstverfügbarkeit und damit auch die S-Bahn Dienstverfügbarkeit	**
Erweiterte Redundanz einsetzen (BSC-TRAU) S-Bahn Stuttgart Raum	Die erweiterten Redundanzmöglichkeiten bewerten und dann die beste Lösung einplanen und Installieren	Erweiterte Redundanz erlaubt bei Totalausfall von Hauptknoten (BSC-TRAU) den GSM-R-Dienst in noch tragbarer Zeit wiederherzustellen und damit auch die S-Bahn Dienst wesentlich schneller wiederherstellen	**
SLA für ETCS L2 Anpassen	Die prophylaktische Instandhaltung und Fehlerbeseitigung sind für reibungslosen S-Bahn-Betrieb sehr wichtig. Eine bessere Verfügbarkeit könnte erreicht werden, wenn Ersatzteile und Dienststellen werden im Raum Stuttgart vorgehalten werden. Auch die Fehlerbeseitigungszeiten sollten diskutiert und wenn möglich eine Sonderzeitenregelung für die S-Bahn Stuttgart vereinbart werden.	Die lokalen Dienststellen und bessere Fehlerbeseitigungszeiten können die S-Bahn Dienstverfügbarkeit verbessern.	**
Recovery-Planung S-Bahn Stuttgart Raum	Alle möglichen Betriebsausfälle und Betriebsrisiken in der Recovery Planung anmerken mit eindeutigen Anleitungen für S-Bahn Betriebsbehinderungen Beseitigungsmaßnahmen	Das genaue Procedere für Maßnahmen können die S-Bahn Dienstverfügbarkeit verbessern.	***

Bewertung: * grundlegende Empfehlungen, ** wichtige Empfehlungen, *** sehr wichtige Empfehlungen

Quellen, auf die sich die Aussagen dieser Teilanalyse stützen:

UIC Study on implications of the bearer independent communication concept 2017
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/systra_study_on_implications_of_the_bearer_independent_communication_concept_en.pdf

Ex-post analysis of the relevance of GSM-R for railway operational performance and railway safety (2015)
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/ex_post_evaluation/era_ee_ex_post_operational_radio_requirements_en.pdf

Study on feasibility of satcom for railway applications 2017
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/indra_alg_study_on_feasibility_of_satcom_for_railway_applications_en.pdf

Study on co-existence of GSM-R and other radio technologies in the current railway radio spectrum 2016
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/ls_telcom_study_on_co-existence_of_gsm-r_and_other_radio_technologies_in_the_current_railway_radio_spectrum_en.pdf

Study on migration of railway radio communication from GSM-R to other solutions 2016
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/systra_study_on_migration_of_railway_radio_communication_from_gsm-r_to_other_solutions_en.pdf

Study on the evolution of GSM-R (2015)
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/odate_wik_study_on_the_evolution_of_gsm-r_en.pdf

Study for the evolution of the railways communication system (2014)
https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/studies/analysys_mason_study_evolution_of_railways_communication_system_en.pdf

2.3 Systemkomponente ETCS-Fahrzeugausrüstung

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA1 des Arbeitspakets AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.3.1 Überblick

2.3.1.1 Ziele der Hauptaufgabe

Nachfolgend sind die Ziele der Technikanalyse bezüglich des Teilsystems ETCS-Fahrzeuge aufgelistet:

- Analyse der Flotten in Bezug auf Bauserien, technische Konfigurationen und Betriebsszenarien,
- Analyse der Auswirkungen des Hochleistungsblocks und der ATO auf die Fahrzeugausrüstung,
- Untersuchung der mechanischen, elektrischen Schnittstellen, Anpassung TCMS,
- Abschätzung der Umrüstdauer der Flotte inkl. der Zulassung

2.3.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Grundsätzlich ist die Machbarkeit der ETCS-Ausrüstung der S-Bahn-Fahrzeuge gegeben.

Es sind Randbedingungen im Ausrüstungsprozess zu beachten (siehe Kapitel 5).

Die Anforderungen an die Systemkomponente ETCS/ATO-Fahrzeugeinrichtung ist im Anhang 4 dargestellt. Die Anforderungen bilden u.a. die Basis für die geplante Ausschreibung der Fahrzeugeinrichtungen durch die DB Regio als Betreiber der S-Bahn Stuttgart.

2.4 Systemkomponente ATO

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA7 des Arbeitspakets AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.4.1 Überblick

2.4.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Ziel dieser Hauptaufgabe mit dem Schwerpunkt ATO ist zu untersuchen, ob und unter welchen Randbedingungen ATO im Automatisierungsgrad GoA2 im System der S-Bahn Stuttgart zusammen mit ETCS Level 2 implementiert werden kann. Darüber hinaus soll die Machbarkeitsstudie aufzeigen, ob und unter welchen Randbedingungen die Einführung von ATO, insbesondere betrieblich, vorteilhaft ist und welche weiteren Schritte unternommen werden müssen.

2.4.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Für die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführte Untersuchung zur Einführung von ATO over ETCS im System der S-Bahn Stuttgart kann folgendes Fazit gezogen werden:

- ATO over ETCS kann im System der S-Bahn Stuttgart implementiert werden
- ATO over ETCS trägt im System der S-Bahn Stuttgart zur Erreichung der Ziele (Steigerung Betriebsqualität und Kapazität) bei
- ATO over ETCS als Produkt steht im Rahmen des gesetzten Implementierungszeitraums durch den Markt zur Verfügung
- ATO over ETCS ist optimal zusammen mit ETCS Level 2, zumindest auf der Fahrzeugseite umzusetzen
- ATO over ETCS ist in der ersten Ausbaustufe (Szenario ATO-Light, siehe Kapitel 2.4.2.2.2) die Grundlagen für eine weiterführende Optimierung aufbauend auf einem zentralen Traffic Management System (TMS) und bietet damit Investitionssicherheit

Um diese positiven Aspekte zu realisieren, sollten folgenden Handlungsempfehlungen (siehe Tabelle 40) umgesetzt werden.

Tabelle 40: Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung von ATO bei der S-Bahn Stuttgart

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-1	<p>Aufbau einer kontinuierlichen Kommunikation</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.2.1 und Kapitel 2.2.7</p> <p>Für die Implementierung von ATO ist eine kontinuierliche, IP-basierte Kommunikation zwischen der ATO-OB (fahrzeugseitig) und der ATO-TS (streckenseitig) notwendig.</p> <p>Um diese Kommunikation sicher zu stellen, wird der Aufbau eines Funknetz nach dem zukünftigen 5G-Standard FRMCS empfohlen, wobei eine Migration über die bestehende fahrzeuginternen WLAN-Router-Lösung, unter Einsatz von Public 4G möglich ist.</p>	<p>Es wird empfohlen für die ATO relevante Datenübertragung den Aufbau eines Funknetzes nach dem zukünftigen 5G-Standard FRMCS umzusetzen, wozu ausreichende Ressourcen bei der Spezifikation, den LH-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden sein müssen.</p>	<p>PSU</p> <p>DB Netz AG</p>
ATO-2	<p>Automatische Türsteuerung</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.2.5</p> <p>Es wird empfohlen keine automatische Türsteuerung im Rahmen der ATO-Implementierung umzusetzen.</p>	<p>Die Entscheidung, kein automatisches Türmanagement umzusetzen, muss spezifisch für das Projekt getroffen, dokumentiert und mit der generischen ATO-Entwicklung abgestimmt werden.</p>	<p>PSU</p> <p>DB Netz AG</p>

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-3	<p>Adhäsionsmanagement</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.4.5.4</p> <p>Es wird empfohlen kein (automatisches) Adhäsionsmanagement im Rahmen der ATO Implementierung umzusetzen.</p>	Die Entscheidung, kein Adhäsionsmanagement umzusetzen, muss spezifisch für das Projekt getroffen, dokumentiert und mit der generischen ATO-Entwicklung abgestimmt werden.	PSU DB Netz AG
ATO-4	<p>S-Bahn spezifische Betrieblichen Szenarien</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.3</p> <p>Basierend auf der betrieblichen Analyse in der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird empfohlen S-Bahn-spezifische, betriebliche Szenarien und Abläufe für den ATO-Betrieb zu entwickeln.</p> <p>In diesem Rahmen sollten auch alle relevanten Situationen des gestörten Betriebes (Degraded Modes) bzw. Notfall-Situationen betrachtet werden.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	S-Bahn Stuttgart
ATO-5	<p>ATO-Lastenhefterstellung</p> <p>Um die generische Entwicklung und Implementierung von ATO im Netz der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen ein generisches Lastenheft auf Basis der internationalen Standards für ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) zu erstellen.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG
ATO-6	<p>Betriebliches Regelwerk erstellen</p> <p>Um den generischen Betrieb von ATO im Netz der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen das betriebliche Regelwerk der DB Netz AG dementsprechend weiterzuentwickeln.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG
ATO-7	<p>Internationale Spezifikation begleiten</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.2.3</p> <p>Um Anwendbarkeit der ATO relevanten Spezifikationen, insbesondere aus dem internationalen Kontext im Sinne der DB Netz AG sicherzustellen, wird empfohlen die derzeitige Entwicklung der Subsets aktiv zu unterstützen und ggf. über den CR-Prozess zu beeinflussen.</p>	Ausreichende Ressourcen bei den Regelwerk-Erstellern und den mit der Zulassung betrauten Stellen vorhanden.	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-8	Definition Systemverantwortung Es wird empfohlen für das Gesamtsystem ATO, mit den verteilten Komponenten ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) die Systemverantwortung explizit zu definieren.	---	DB Netz AG
ATO-9	Definition von buchhalterische Einordnung Es wird empfohlen für das Gesamtsystem ATO, mit den verteilten Komponenten ATO-OB (fahrzeugseitig) und ATO-TS (streckenseitig) die buchhalterische Abbildung / Einordnung in entsprechende Anlageklassen explizit zu definieren.	---	DB Netz AG
ATO-10	Erstellung BAST für ATO Es wird empfohlen für die Implementierung des Systems ATO im konkreten Projekt der S-Bahn Stuttgart zu klären, ob eine BAST für ATO erstellt werden muss. Wenn eine BAST für ATO erstellt werden muss, sollte frühzeitig definiert werden, in welchem Dokumentationsrahmen diese BAST eingebettet werden kann.	---	DB Netz AG
ATO-11	Einzelentscheidungen ATO-Implementierung Im Rahmen der Machbarkeitsstudie sind eine Reihe von spezifischen ATO-Funktionen und / oder Parametern diskutiert worden. Es wird empfohlen, dass basierend auf diesen Diskussionen die weiterführende Implementierung entschieden und sichergestellt wird. Dies betrifft zum Beispiel die ATO-OB Integration in das Fahrzeug bzw. mit dem Fahrzeugbus TCMS, die Implementierung des ATO-Startknopfes im Fahrzeug oder auch das Übertragungsregime von Segment Profiles, die Bedienung ATO-TS, die Übertragung von Statusmeldungen zwischen ATO-OB und ATO-TS etc.	Für die weiterführende Analysen zu den betreffenden Funktionen müssen ausreichende Ressourcen für die betrauten Stellen vorhanden sein.	PSU S-Bahn Stuttgart DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
ATO-12	<p>Entwicklung TMS</p> <p>Siehe Kapitel 2.4.8</p> <p>Um die aufgezeigten Potentiale des Szenarios ATO/TMS für die DB Netz AG zu realisieren, wird empfohlen eine konzern- und netzweite Entwicklung und Implementierung eines einheitlichen TMS vorzunehmen.</p>	<p>Es muss eine grundsätzliche Entscheidung herbeigeführt werden, dass eine konzern- und netzweite Entwicklung eines TMS veranlasst wird, um dann ausreichende Ressourcen bei allen relevanten Stellen sicherzustellen.</p>	DB Netz AG
ATO-13	<p>ATO-Ausrüstungsbereich Strecke</p> <p>Der ATO-Streckenausrüstungsbereich ist zu maximieren und mit dem ETCS-Streckenausrüstungsbereich abzugleichen. Dabei ist der Netzbereich der S-Bahn Stuttgart sowie der Netzbereich des gesamten Regionalverkehrs im Knoten Stuttgart zu berücksichtigen.</p> <p>Mit der Maximierung des ATO-Streckenausrüstungsbereichs können folgende Ziele verfolgt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> 3. Ausgangspunkt S-Bahn-Stammstrecke: Hier ist das verfolgte ATO-Ziel Kapazitätsgewinn und Betriebsqualität, woraus sich die Empfehlung ableiten lässt, ATO auf der Stammstrecke und den Zulaufstrecken zu implementieren 4. Darauf aufbauend und analog zu der ETCS-Kostenempfehlung KS-2 („Maximierung des ETCS-Streckenausrüstungsbereichs“) ist nun grundsätzlich die Maximierung des ATO-Streckenausrüstungsbereichs anzustreben: <ul style="list-style-type: none"> a. Insbesondere um die bestehende Ausrüstung der Fahrzeuge maximal nutzen zu können b. Um die Investitionskosten durch die parallele ETCS- und ATO-Streckenausrüstung zu minimieren c. Um die Investitionssicherheit für die spätere Hochrüstung der Leittechnik auf ein integriertes TMS für das gesamte, relevante Netz sicherzustellen. 	---	PSU

2.4.1.3 Methodik und Vorgehensdefinition

Im Nachfolgenden wird das grundlegende Vorgehen für die Untersuchung von ATO over ETCS im Rahmen der Machbarkeitsstudie beschrieben.

Dabei werden ausgehend von einer Zieldefinition (siehe Kapitel 2.4.2.1) folgende Schritte durchlaufen:

1. ATO-System- und Szenariodefinition (siehe Kapitel 2.4.2.2)
 - a. Definition des Systems ATO over ETCS, sowie des zu untersuchenden Szenarios
 - b. Festlegung des Automatisierungsgrades (GoAx), der untersucht werden soll.
 - c. Dabei werden, bis auf die Potentialanalyse ATO/TMS, die nachfolgenden Schritte für das Szenario ATO-Light durchgeführt.
2. Betriebliche Analyse (siehe Kapitel 2.4.3)
 - a. Entlang der betrieblichen Szenarien, die durch die ERA definiert worden sind, werden für den Betrieb der S-Bahn Stuttgart relevanten betrieblichen Szenarien identifiziert.
 - b. Die betriebliche Analyse wird mit dem Betreiber der S-Bahn Stuttgart abgestimmt.
3. Funktionale Analyse (siehe Kapitel 2.4.4)
 - a. Aufbauend auf der betrieblichen Analyse und der bestehenden ATO-Spezifikation (siehe Kapitel 2.4.2.3) wird eine funktionale Analyse vorgenommen, die Funktionen definiert:
 - i. Die bei der S-Bahn umgesetzt werden
 - ii. Die explizit nicht bei S-Bahn umgesetzt werden
 - iii. Die von den Standards abweichend umgesetzt werden
 - b. Funktionen, die entsprechend den Standards umgesetzt werden, werden nicht weiter betrachtet
4. Projektierungs- und Planungsanalyse (siehe Kapitel 2.5)
 - a. Zusammen mit der AG Infrastruktur werden Aspekte beleuchtet, die für die Projektierung bzw. Planung von ATO relevant sind.
5. Betriebliche Nutzwertanalyse (siehe Kapitel 2.4.6)
 - a. Zusammen mit der AG Betrieb wird der betriebliche Nutzen von ATO entlang einer eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchung (EBWU) durch Simulationen betrachtet.
6. Marktbetrachtung und Erfahrungsaustausch (siehe Kapitel 2.4.7)
 - a. Mittels von Herstellerworkshops mit den für ATO relevanten Herstellern wird der Stand der Produktentwicklung und -implementierung, auch im internationalen Bereich ermittelt.
 - b. Parallel wird ein Erfahrungsaustausch mit anderen Projekten bzw. Bahnen, die ATO als Implementierungsziel verfolgen, gepflegt.
7. Implementierungs- und Zulassungsanalyse (siehe Kapitel 4.2)
 - a. Unter dem Stichwort „Implementierungs- und Zulassungsanalyse“ werden für das System ATO Aspekte wie Ausschreibung, Testkonzept, Zulassung sowie Systemverantwortung betrachtet.
8. Potentialanalyse ATO/TMS (siehe Kapitel 2.4.8)
 - a. Als letzter Schritt dieser Machbarkeitsstudie wird als Ausblick für das Szenario ATO/TMS eine Potentialanalyse erstellt, die ausgehend von einer Systemdefinition für TMS die Einschränkungen des Szenarios ATO-Light aufhebt und die Potentiale von TMS im Zusammenspiel mit dem System ATO betrachtet.

Insgesamt führt die Untersuchung zu einem Fazit für die Implementierung von ATO over ETCS bei der S-Bahn Stuttgart, sowie zu konkreten Handlungsempfehlungen für die weitere Bearbeitung.

2.4.2 Grundlegende Definitionen

2.4.2.1 Zieldefinition ATO

Aufbauend auf der Empfehlung der Implementierung von ETCS Level 2 (Szenario ETCS+) bei der S-Bahn Stuttgart wird mit der Implementierung von ATO eine weitere Verbesserung der Betriebsqualität und die Kapazität angestrebt.

Parallel dazu wird als weiteres, aber zweitrangiges Ziel die mögliche Einsparung von Energie durch energieoptimales Fahren angestrebt.

Basierend auf dieser Zieldefinition, wird die Einsparung von Triebfahrzeugführern durch die Einführung des automatisierten Fahrens explizit als Ziel ausgeschlossen werden. Das bedeutet, dass im ATO-Zielbild der S-Bahn Stuttgart der Triebfahrzeugführer weiter in die Bedienung an Bord des Zuges eingebunden ist und damit an Bord bleibt.

Damit wird auch der Grad der Automation, der mit dem System ATO angestrebt wird, auf „Grad of Automation“ GoA2 festgelegt, siehe hierzu das Kapitel 2.4.2.2.1 Systembeschreibung.

2.4.2.2 ATO-System- und Szenariodefinition

In den beiden folgenden Kapiteln wird ein grundsätzliches Verständnis des Systems ATO und der Umsysteme im Rahmen der Implementierung bei der S-Bahn Stuttgart und damit im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie beschrieben.

Im ersten Kapitel Systembeschreibung wird zunächst das System ATO in der Systemarchitektur und den prinzipiellen Funktionen beschrieben. Anschließend werden in dem Kapitel Szenariodefinition die ATO-Szenarios beschrieben, die im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht werden.

2.4.2.2.1 Systembeschreibung

Das System "ATO over ETCS", das aufgrund der Grundsatzentscheidung für die ETCS-Implementierung bei der S-Bahn Stuttgart zum Einsatz kommt, basiert auf zwei Teilsystemen. Dem Zugsicherungssystem ETCS Level 2 (Zugsicherungssystem (ZSS)) und dem ATO-System.

Das Zugsicherungssystem ETCS Level 2 übernimmt in dieser Konstellation zusammen mit der Stellwerkstechnik und dem Triebfahrzeugführer Tf die sicherheitsrelevanten Funktionen bzw. Überwachung der Zugfahrt. Damit wird ATO explizit als NICHT-sicherheitskritisches System entworfen und implementiert.

Dementsprechend übernimmt ATO nur unter der sicheren Überwachung durch ETCS und Tf das automatische Führen des Fahrzeugs durch die Ausgabe von Traktions- bzw. Bremskommandos an die Fahrzeugleittechnik. Insbesondere diese Einbeziehung des Tf entspricht dem Automatisierungsgrade GoA2. Eine weitergehende Automatisierung der Steuerung ist erst bei höheren Automatisierungsgraden (GoA3 und GoA4) vorgesehen.

Diese Automatisierungsgrade, "Grade der Automation" (GoA) unterscheiden grundsätzlich die Eigenschaften von ATO-Systemen. Die nachfolgende beschreibt die vier definierten Automatisierungsgrade.

Tabelle 41: Definition der Automatisierungsgrade von ATO

	Name	Zugbedienung	Beschreibung
GoA1	Nicht- automatisierter Zugbetrieb	Tf im Führerstand	<p>Der Zug wird durch den Tf manuell gesteuert und überwacht sowie durch ein ZSS gesichert.</p> <p>Je nach konkreter Implementierung des ZSS, wird der Tf noch mit Zusatzinformationen bezüglich der aktuellen Fahrt unterstützt.</p>
GoA2	Halb- automatisierter Zugbetrieb	Tf im Führerstand	<p>Der Zug wird automatisch durch das ATO-System, durch die Ausgabe von Traktions- und Bremskommandos an die Fahrzeugleittechnik, gefahren und gestoppt. Die Zugfahrt ist weiterhin durch ein ZSS gesichert.</p> <p>Der Tf ist aber weiterhin für die sichere Beobachtung der Fahrt verantwortlich und kann jederzeit eingreifen bzw. die automatische Führung des Fahrzeugs durch das ATO-System unterbrechen.</p> <p>Weiterhin ist der TF für den gesamten Abfertigungsprozess in der Station verantwortlich und muss eine automatische Fahrt aktiv mit dem ATO-Start-Knopf betätigen und damit ATO aktivieren.</p> <p>Letztendlich ist der Tf auch dafür verantwortlich im gestörten Betrieb (Degraded Modes) oder in Notfall-Situationen die Führung des Fahrzeugs zu übernehmen.</p>
GoA3	Fahrerloser Zugbetrieb	Zugbegleiter im Zug	<p>Der Zug wird automatisch durch das ATO-System, durch die Ausgabe von Traktions- und Bremskommandos an die Fahrzeugleittechnik, gefahren und gestoppt. Die Zugfahrt ist weiterhin durch ein ZSS gesichert.</p> <p>Über GoA2 hinaus ist das ATO-System vollständig für die sichere Abwicklung der Fahrt verantwortlich. Somit ist keine menschliche Person mehr für die sichere Beobachtung der Fahrt verantwortlich und kann auch grundsätzlich nicht während der Fahrt eingreifen bzw. die automatische Führung des Fahrzeugs durch das ATO-System unterbrechen.</p> <p>Im Gegensatz zu GoA4 ist aber noch ein Zugbegleiter an Board, der im gestörten Betrieb (Degraded Modes) oder in Notfall-Situationen die Führung des Fahrzeugs übernehmen kann.</p> <p>Grundsätzlich ist der gesamte Abfertigungsprozess in der Station automatisiert, könnte aber auch noch durch den Zugbegleiter abgewickelt werden.</p>

	Name	Zugbedienung	Beschreibung
GoA4	Unbeaufsichtigter Zugbetrieb	Kein Bediener im Zug	<p>Alle Funktionen des Zugbetriebs werden durch das ATO-System übernommen. Die Zugfahrt ist weiterhin durch ein ZSS gesichert.</p> <p>Damit muss im Unterschied zu GoA3 das ATO-System auch im gestörten Betrieb (Degraded Modes) oder in Notfall-Situationen die Führung des Fahrzeugs übernehmen.</p>

Wie oben bereits in den Zielen beschrieben, wird im Rahmen der Umsetzung von ATO over ETCS für die S-Bahn Stuttgart und damit auch im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie der ATO-Automatisierungsgrad GoA2 angestrebt.

Entlang der prinzipiellen Systemarchitektur aus dem Subset 125 ([i]) werden im Folgenden kurz die zentralen Systemkomponenten und die zentralen Funktionskreisläufe beschrieben.

Diese prinzipielle Systemarchitektur ist in Abbildung 46 dargestellt.

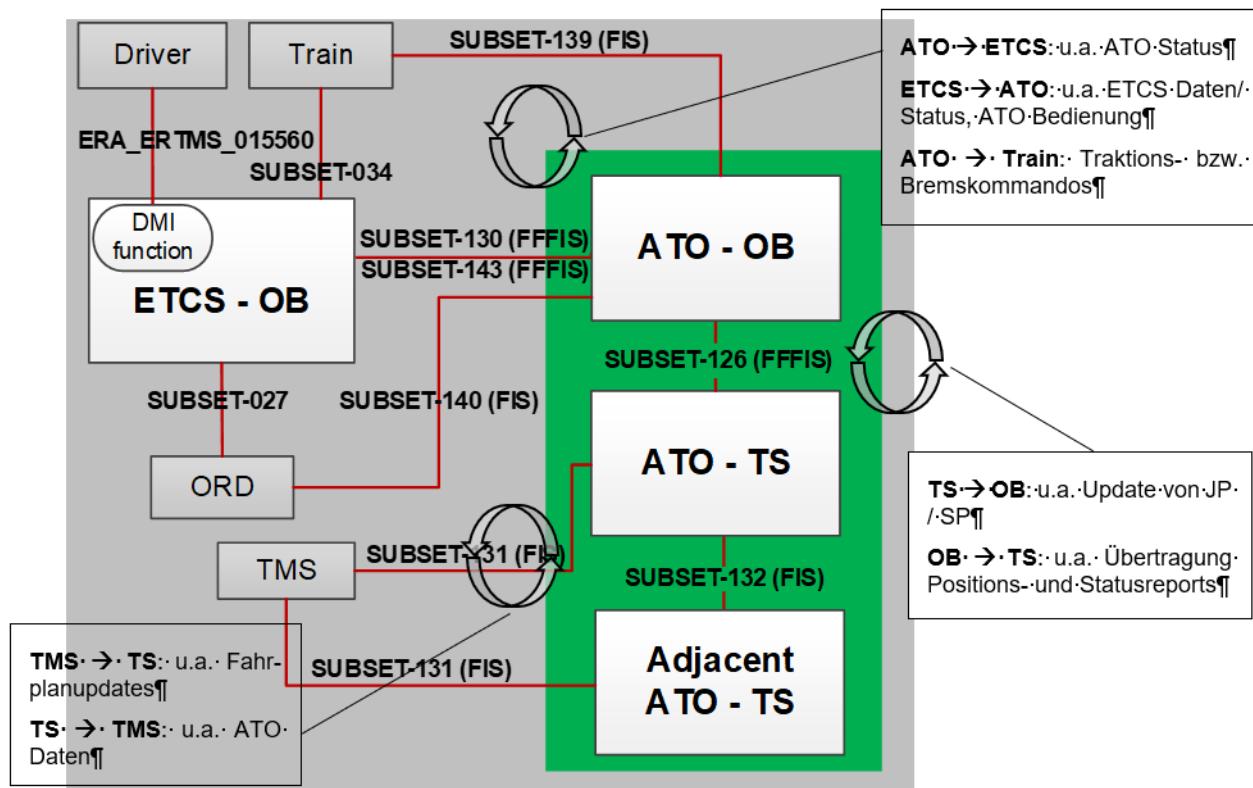


Abbildung 46: ATO over ETCS; prinzipielle Systemarchitektur (Subset 125)

Die zentralen Systemkomponenten der ATO-Systemarchitektur sind ATO-TS (track side, streckenseitig) und ATO-OB (onboard), fahrzeugseitig.

ATO-TS, als die streckenseitige Systemkomponente, ist grundsätzlich verbunden mit benachbarten ATO-TS-Systemen, wenn vorhanden, dem TMS und den ATO-OBs.

TMS (Traffic Management System, Dispositive Leittechnik) wird dabei grundsätzlich als das System verstanden, das Fahrplänen oder weitere dispositiven Betriebsentscheidungen, wie eine abweichende Fahrstraßen-einstellung oder einen Baustellenfahrplan, und damit zeitliche und örtliche Zwangspunkte für das Automatische Fahren definiert. (Weiteres siehe Kapitel 2.4.8)

Die ATO-TS übermittelt an die ATO-OBs Journey Profiles und Segment Profiles. Die Segment Profile beschreiben die Infrastruktur, inklusive der betrieblichen Dimensionen in ATO spezifischer Form. Mit Bezug auf die Segment Profile beschreiben die Journey Profile für einen konkreten Zug, der über die Zugnummer adressiert wird, die zeitlichen Fahrvorgaben, die aus dem aktuellen Fahrplan abgeleitet werden. So definiert ein Journey Profile zum Beispiel, dass ein konkreter Zug zu einer konkreten Zeit oder in einem Zeitfenster einen bestimmten Punkt der Infrastruktur passiert haben muss (ohne zu halten) und an einem weiteren Punkt für ein bestimmtes Zeitfenster halten soll.

Die ATO-OB, als die fahrzeugseitige ATO-Systemkomponente, ist grundsätzlich verbunden mit ETCS-OB sowie dem Fahrzeugbus- bzw. -leitsystem TCMS.

Aus den Informationen der jeweils relevanten Journey Profile und Segment Profile sowie den ETCS-Daten berechnet die ATO-OB zunächst eine ATO-Geschwindigkeitskurve und leitet daraus wiederum Traktions- bzw. Bremskommandos an das Fahrzeug ab. Sind die Infrastrukturpunkte in der definierten Zeit mit verringerter Geschwindigkeit erreichbar, kann ATO-OB Geschwindigkeiten unterhalb der maximal zulässigen Geschwindigkeit vorgeben und diese zum Beispiel hinsichtlich des Energieverbrauchs optimieren. Sind die Infrastrukturpunkte aber nur mit maximaler Geschwindigkeit oder gar nicht mehr in der definierten Zeit erreichbar, führt die ATO-OB das Fahrzeug entlang der ETCS-Brems- und Überwachungskurve und damit mit maximal zulässiger Geschwindigkeit. Grundsätzlich darf die ETCS-Bremskurve nie überschritten werden. Zum einen ist diese Grenze ATO-OB bekannt und wird damit von ATO-OB selbst überwacht und zum anderen kann ETCS als Sicherheitssystem jederzeit eingreifen, das Fahrzeug bremsen und damit auch ATO-OB deaktivieren.

Über die Schnittstelle ATO-OB und ETCS-OB werden somit zum einen ETCS bezogene Daten (zum Beispiel maximale Geschwindigkeit, Position, überfahrene Balisen, Status des ETCS-OB) von ETCS-OB an die ATO-OB übertragen. Zum anderen werden Informationen von ATO-OB an ETCS-OB übertragen, die insbesondere die Zugdateneingabe bzw. -übertragung und die ATO-Bedienung über das ETCS-DMI betreffen.

Für eine automatische Zugfahrt unter der Führung der ATO-OB müssen letztlich alle technischen (einige siehe oben) und betriebliche Randbedingungen (Operational Conditions, Subset 125, Kapitel 9.1.1 und 9.1.2) erfüllt sein, so dass die ETCS-OB in den ETCS Mode AD (Automatic Driving) und die ATO-OB in den ATO-Mode EG (Engaged) wechseln können. Nur unter diesen Voraussetzungen hat ATO-OB Zugriff auf die Fahrzeugleittechnik, kann Traktions- bzw. Bremskommandos an das Fahrzeug geben und damit das Fahrzeug automatisch führen.

2.4.2.2.2 Szenariodefinition

Ausgehend von der Systemdefinition und dem angestrebten ATO Automatisierungsgrad GoA2, wie in Kapitel 2.4.2.2.1 Systembeschreibung dargestellt, wurden für die Untersuchung in der vorliegenden Machbarkeitsstudie zwei Szenarien identifiziert:

1. ATO-Light
2. ATO/TMS

Beide Szenarien unterscheiden sich grundsätzlich „nur“ durch die Integration eines vollwertigen TMS in die Systemarchitektur sowie die zugrundeliegende Funktechnik.

Hinsichtlich der zugrundeliegenden Funktechnik wird für ATO-Light die Nutzung der fahrzeuginternen WLAN Router Lösung, somit der Einsatz von Public 4G empfohlen wohingegen für ATO/TMS der Einsatz von 5G im Rahmen des zukünftigen Bahnfunkstandards Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) empfohlen wird. (siehe Kapitel 2.4.4.2.1)

Hinsichtlich der Integration eines TMS in die ATO-Systemarchitektur wird für ATO-Light von einer statischen Leittechnik ausgegangen, die keine Interaktion bzw. Bedienung von ATO-TS, sowie keine ad hoc Übertragung von Fahrplananpassungen oder Dispositionentscheidungen an die ATO-TS ermöglicht (siehe Kapitel 2.4.8.1).

Das Szenario ATO-Light ist im Rahmen der Machbarkeitsstudie eingehend untersucht und in den folgenden Kapiteln näher beschrieben worden. Für das Szenario ATO/TMS wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie eine Potentialanalyse durchgeführt, siehe Kapitel 2.4.8 Potenzialanalyse ATO/TMS.

2.4.2.3 Definition Spezifikationsbasis

Das System ATO over ETCS, wie in dem Kapitel 2.4.2.2 ATO-System- und Szenariodefinition umrissen, ist in den Spezifikationsdokumenten international spezifiziert, die in Tabelle 42 aufgelistet und in der Machbarkeitsstudie entsprechend referenziert werden.

Tabelle 42: ATO-Spezifikationsreferenzen

Ref.Nr.	Titel	Version	Anmerkungen
[i]	ETCS Subset 026, v3.6.0 + CR1238	3.6.0	---
[ii]	ATO over ETCS – System Requirements Specification	0.1.0	Subset-125
[iii]	ATO over ETCS – ATO-OB / ATO-TS FFFIS Application Layer Specification	0.0.16	Subset-126
[iv]	ATO over ETCS – ATO-OB / ATO-TS Interface Specification, Appendix A Transport and Security Layers for GSM-R GPRS”	0.0.2	Subset-126, Appendix A
[v]	ATO over ETCS – ATO-OB / ETCS-OB FFFIS Application Layer	0.1.0	Subset-130
[vi]	ATO-TS / TMS Interface Specification	0.0.1	Subset-131
[vii]	ATO OVER ERTMS OPERATIONAL SCENARIOS	1.6	
[viii]	ATO OVER ETCS OPERATIONAL PRINCIPLES	1.4	

Ref.Nr.	Titel	Version	Anmerkungen
[ix]	ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS	1.9	
[x]	ATO-OB / Vehicle Interface Specification FIS	0.0.7	Subset-139

Die Referenzen in den Kapitel 4.7.x, die z. B. ([i]) lauten oder mit zusätzlicher Nennung von Kapiteln, z. B. ([i] Kapitel 10.1.2.6) vorkommen, beziehen sich auf diese Referenztabelle.

Die ETCS-Subsets 026 sind in der Version 3.6.0 sowie der CR1238 ([i]) im Entwurf fertig, müssen aber noch offiziell verabschiedet werden.

Die ATO spezifischen, europäischen Standards insbesondere Subset 125, 126 und 130 ([i], [ii], [iii], [iv], und [v]), die durch Shift2Rail erarbeitet worden, liegen im Entwurfsstadium vor und sollten Anfang 2019 weiter konsolidiert werden. Die Standards sind bis jetzt nicht als Teil einer TSI in Europäisches Recht überführt worden. Es wird damit gerechnet, dass die ERA bis Ende 2019 eine „Technical Opinion (TO)“ veröffentlicht und damit die Standards defacto in geltendes Recht überführt werden. Laut ERA Zeitplan sollen die Standards bis 2022 in die TSI CCS eingebettet werden

Parallel dazu verfolgt die ERA folgenden Roadmap, siehe Abbildung 47.

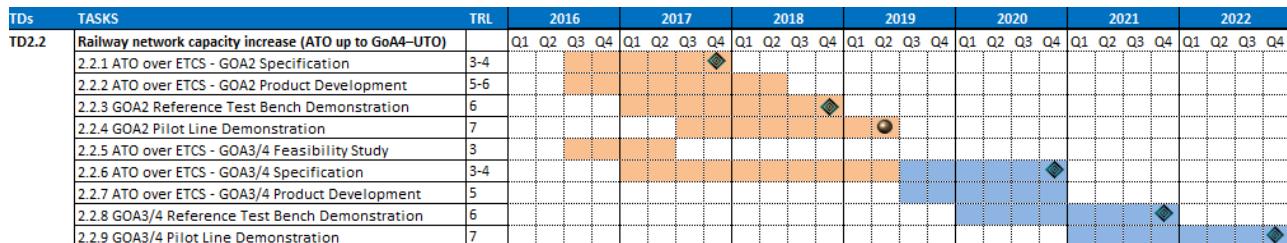


Abbildung 47: Roadmap der ATO-Spezifikation der ERA

Der Härtegrad der Spezifikation wird sich bis zum Zieltermin für die TSI 2022 weiter erhöhen, so dass die Implementierung von ATO over ETCS im Rahmen des Projektes sich darauf abstützen kann.

Für das Szenario ATO-Light werden die europäischen Spezifikationen Ende 2019 geeignet sein, die Hardware-seitige Umrüstung der Fahrzeuge zu beauftragen. Die Softwarereleases der ETCS-OB und der ATO-OB sollten optional auf Basis der „Technical Opinion“ der ERA (voraussichtlich 2019) und des CR1238 ([i]) vertraglich vereinbart werden, wobei Stufenkonzept vereinbart werden können.

Die baureihenspezifische Schnittstelle zur ATO-OB muss in der Ausschreibung ausspezifiziert werden und vorher mit dem Fahrzeug-Hersteller insbesondere die Offenlegung vereinbart werden.

2.4.3 Betriebliche Analyse

2.4.3.1 Vorgehen

Der Ausgangspunkt für die Analyse der Umsetzbarkeit von ATO GoA2 im Kontext der S-Bahn Stuttgart war die betriebliche Analyse der ERA Szenarien ([iv]) in Verbindung mit den begleitenden Dokumenten ([v], [vi]).

Bei der betrieblichen Analyse wurde in Abstimmung mit dem S-Bahn Betreiber auf Basis der ERA Szenarien ein möglicher ATO Betrieb analysiert. Insbesondere sollte identifiziert werden, welche Szenarien für den spezifischen S-Bahn Betrieb relevant sind.

Aus den relevanten Szenarien wiederum wurden Funktionsblöcke oder Aspekte abgeleitet, die im Rahmen der ATO-Light Implementierung umgesetzt werden müssen. Diese Funktionen wurden dann in der Funktionsanalyse (siehe Kapitel 2.4.4) eingehend geprüft, um Handlungsempfehlungen oder weiterführenden externen Anforderungen abzuleiten zu können.

Dabei wurden Funktionen, die standardgemäß umgesetzt werden, nicht näher betrachtet oder diskutiert.

Die als nicht relevanten Szenarien werden im Kapitel 2.4.3.3 dargestellt.

2.4.3.2 Relevante ERA-Szenarien

In der folgenden Tabelle werden entlang der als relevant identifizierten Szenarien Funktionen und Aspekte (Spalte „Funktionsreferenz“) referenziert, die in den entsprechenden Kapiteln weiter untersucht werden.

Tabelle 43: Definition von relevanten ERA-ATO-Szenarien

ID	Sz-ID	Szenario Name (engl.)	Übersetzung (dt.)	Funktionsreferenz
1	Sz01	Starting Journey	Einschalten/Aufstarten ATO-OB	2.4.4.6.2 Zugdateneingabe ETCS-OB und ATO-OB
2	Sz01	Starting Journey	Einschalten/Aufstarten ATO-OB	2.4.4.2.1 Kommunikationsmanagement
3	Sz01	Starting Journey	Einschalten/Aufstarten ATO-OB	2.4.4.2.3 Management von ATO-Streckenatlas / Segment-Profiles
4	Sz01	Starting Journey	Einschalten/Aufstarten ATO-OB	2.4.4.2.2 Management von Fahrplänen / Journey Profiles
5	Sz01	Starting Journey	Einschalten/Aufstarten ATO-OB	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
6	Sz02	De-energising ATO on-board	Ausschalten ATO-OB	2.4.4.3.2 ATO-OB-Bedienung
7	Sz02	De-energising ATO on-board	Ausschalten ATO-OB	2.4.4.3.4 ATO-OB-Statusmeldungen an ATO-TS – Zeitintervall
8	Sz03	Planned GoA1 to GoA2 transition on the move	Geplante Transition von GoA1 nach GoA2 während der Fahrt	2.4.4.2.8 Transition GoA1 nach GoA2 und GoA2 nach GoA1 während der Fahrt
9	Sz03	Planned GoA1 to GoA2 transition on the move	Geplante Transition von GoA1 nach GoA2 während der Fahrt	2.4.4.3.2 ATO-OB-Bedienung
10	Sz04	Driver-initiated GoA2 to GoA1 transition	Tf-initiierte Transition von GoA2 nach GoA1	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
11	Sz04	Driver-initiated GoA2 to GoA1 transition	Tf-initiierte Transition von GoA2 nach GoA1	2.4.4.3.4 ATO-OB-Statusmeldungen an ATO-TS – Zeitintervall

ID	Sz-ID	Szenario Name (engl.)	Übersetzung (dt.)	Funktionsreferenz
12	Sz05	Automatic GoA2 to GoA1 transition on the move	Automatische Transition von GoA2 nach GoA1 während der Fahrt	2.4.4.2.8 Transition GoA1 nach GoA2 und GoA2 nach GoA1 während der Fahrt
13	Sz05	Automatic GoA2 to GoA1 transition on the move	Automatische Transition von GoA2 nach GoA1 während der Fahrt	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
14	Sz08	Train stops at a Stopping Point	Zug hält am Haltepunkt	2.4.4.2.5 Automatische Türsteuerung durch ATO und ETCS
15	Sz09	Train stopped by signalling	Zug hält am Halt-zeigenden Signal / EoA (explizit nicht am Haltpunkt)	2.4.4.5.4 Bremsen, Beschleunigen, Fahren
16	Sz10	Train stops short of a Stopping Point	Zug stoppt zu weit vor einem Haltepunkt	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
17	Sz11	Train overshoots Stopping Point	Zug stoppt zu weit hinter einem Haltepunkt	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
18	Sz12	Train departs from a Stopping Point	Zug startet vom Haltepunkt	2.4.4.5.2 ATO-Startknopf
19	Sz12	Train departs from a Stopping Point	Zug startet vom Haltepunkt	2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität
22	Sz15	Driver initiated 'Stopping Point Skip'	Tf-initiierte Auslassung eines Haltepunktes	2.4.4.3.4 ATO-OB-Statusmeldungen an ATO-TS – Zeitintervall
24	Sz17	Emergency brake application commanded by ETCS or other safety system	Emergency Brake kommandiert durch ETCS oder ein anderes sicherheitsrelevantes System	2.4.4.5.4 Bremsen, Beschleunigen, Fahren
25	Sz18	Neutral/Powerless Sections	Schutzstreckenmanagement	2.4.4.2.6 Schutzstreckenmanagement
28	Sz21	Change of Train Running Number	Änderung der Zugnummer	2.4.4.2.1 Kommunikationsmanagement
29	Sz21	Change of Train Running Number	Änderung der Zugnummer	2.4.4.2.2 Management von Fahrplänen / Journey Profiles

ID	Sz-ID	Szenario Name (engl.)	Übersetzung (dt.)	Funktionsreferenz
30	Sz21	Change of Train Running Number	Änderung der Zugnummer	2.4.4.2.3 Management von ATO-Streckenatlas / Segment-Profiles
31	Sz22	Transition from Class B area	Levelwechsel von Klasse B System nach ETCS (Level 2)	2.4.4.2.1 Kommunikationsmanagement
32	Sz23	Transition to Class B area	Levelwechsel von ETCS (Level 2) nach Klasse-B-System	2.4.4.2.1 Kommunikationsmanagement

2.4.3.3 Nicht-relevante ERA-Szenarien

Für die betrieblichen Analyse wurden die folgenden ERA Szenarios als nicht relevant definiert:

Tabelle 44: Ausschluss von nicht-relevanten ERA-ATO-Szenarien

Sz-ID	Szenario Name (engl.)	Übersetzung (dt.)	Begründungsreferenz
Sz06	ATO inhibition	ATO Sperrung	2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung
Sz07	C-DAS inhibition	C-DAS Sperrung	2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung
Sz13	Rerouting	Umleitung, Abweichung vom Fahrplan	2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung
Sz14	Trackside initiated 'Stopping Point Skip'	Streckenseitig initiierte Auslassung eines Verkehrs- oder Betriebshaltes	2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung
Sz16	Hold train at next Stopping Point	Zug "Festhalten" am nächsten Verkehrs- oder Betriebshalt	2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung
Sz19	Unprotected level crossings	Ungeschützte Bahnübergänge	2.4.3.3.2 Ungeschützte Bahnübergänge
Sz20	ATO adhesion management	ATO Adhäsionsmanagement	2.4.3.3.3 ATO-Adhäsionsmanagement

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Ausschluss der Szenarien begründet.

2.4.3.3.1 ATO-Light-Einschränkung

Durch Definition des Szenarios ATO-Light (siehe Kapitel 2.4.2.2.2) und die damit gewählten Einschränkungen, insbesondere das ATO-TS nicht während der Laufzeit bedient oder durch ein übergeordnetes System (z. B. TMS) gesteuert werden kann, gibt es grundsätzlich keine Möglichkeit:

1. ATO- oder DAS-Bereiche dynamisch zu sperren
2. Abweichende Fahrpläne zu definieren und an die ATO-TS zu kommunizieren. Auch gibt es keine Möglichkeit der direkten ATO-TS-Bedienung, um vorprojektete Fahrpläne zu aktivieren. Diese Funktions einschränkung betrifft sowohl die dynamische Umleitung und damit Umplanung des Fahrplans zur Laufzeit, die streckenseitig initiierte Auslassung eines Haltepunktes also auch das Festhalten eines Zuges an einem der nächsten Haltepunkte. (siehe Kapitel 2.4.4.2.2 Management von Fahrplänen / Journey Profiles)

Damit sind die Szenarien Sz06, Sz07, Sz13, Sz14 und Sz16 nicht relevant für die Untersuchungen des ATO-Light Szenarios im Rahmen dieser Studie, müssen aber in der Potentialanalyse für ATO/TMS berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.4.8).

2.4.3.3.2 Ungeschützte Bahnübergänge

Da es im relevanten Untersuchungsbereich des S-Bahn-Netz Stuttgart keine ungeschützten Bahnübergänge gibt, wird diese Funktion nicht umgesetzt.

2.4.3.3.3 ATO-Adhäsionsmanagement

Das automatische Adhäsionsmanagement ist als Funktion in der ATO-Spezifikation als nicht-sicherheitsrelevante Funktionen spezifiziert ([i] Kapitel 7.6). Dabei konstituiert diese Funktionsspezifikation keine Anforderung an / keine Funktion von Zugbeeinflussungssystemen (wie zum Beispiel PZB oder ETCS), muss aber vor dem Hintergrund ATO betrachtet werden.

Ausgehend von der Annahme, dass ein verminderter Reibwert – wie auch heute – durch den Tf beherrscht wird, in dem dieser situationsentsprechend in die Steuerung des Zuges eingreift (z. B. schwächer beschleunigen und früher und schwächer bremsen), wird die ATO-Funktion Adhäsionsmanagement nicht umgesetzt.

Dabei wurde davon ausgegangen, dass auch bei automatischer GoA2-Fahrt der Tf jederzeit manuell in die Zugfahrt eingreift, wenn ein verminderter Reibwert erkannt wird und dann entsprechend der bestehenden Prozesse die schlechte Haftung an den Fdl kommuniziert.

Der Ausschluss der Funktion liegt außerdem in der Einschränkung des Szenarios ATO-Light begründet. Der Informationskreis **Tf** (kommuniziert verminderte Haftung) → **Fdl** (gibt verminderten Reibwert ein) → **ATO-TS / ATO-OB** (setzen den verminderten Reibwert für nachfolgende Züge um) ist mit der statischen Auslegung von ATO-TS nicht realisierbar. Grundsätzlich kann die Umsetzung der Funktion also im Rahmen der Einführung des ATO/TMS-Szenarios nochmals geprüft werden (siehe Kapitel 2.4.8), um dann einen automatisierten Regelkreis anzustreben.

Dabei muss aber davon ausgegangen werden, dass die Funktion an sich ein schlechtes Aufwand-Nutzen-Verhältnis hat, da eine aufwendige Funktion für eine relativ seltene Anwendung implementiert werden muss, für die es außerdem eine etablierte Lösung gibt.

2.4.4 Funktionsanalyse

2.4.4.1 Vorgehen

Basierend auf der betrieblichen Analyse (siehe Kapitel 2.4.3), sowie der Auswertung der ETCS- und ATO-Spezifikationen und der Ergebnisse aus Workshops mit Hersteller werden im folgenden Kapitel ATO-relevante Funktionen und weitere Aspekte betrachtet.

Das Ziel war dabei, eine spezifische ATO-Lösung für die S-Bahn Stuttgart zu skizzieren.

Neben den Funktionen, die in der betrieblichen Analyse identifiziert wurden, kamen noch folgende Funktionen bzw. Aspekte hinzu

1. Weitere Funktionen

- a. Bedienung des ATO-Systems
(siehe Kapitel 2.4.4.2.4)
- b. Geschwindigkeitsbegrenzung für Bahnhofsdurchfahrten im Tunnel
(siehe Kapitel 2.4.4.2.7)
- c. Management von Beschleunigungswechseln (Ruckbegrenzung *engl. jerk limitation*)
(siehe Kapitel 2.4.4.3.3)
- d. Integration mit Fahr-Brems-Hebel
(siehe Kapitel 2.4.4.5.1)
- e. ATO-Startknopf
(siehe Kapitel 2.4.4.5.2)
- f. Laufzeiten
(siehe Kapitel 2.4.4.5.3)
- g. Bremsen, Beschleunigen, Fahren
(siehe Kapitel 2.4.4.5.4)
- h. Integration mit Fahrzeugdiagnosedaten
(siehe Kapitel 2.4.4.5.5)

2. Zusätzliche Aspekte

- a. Verschleiß-Monitoring
(siehe Kapitel 2.4.5.1)
- b. Blockteilung 30 m vs. 55 m
(siehe Kapitel 2.4.5.2)

2.4.4.2 Übergreifende ATO-Funktionen

2.4.4.2.1 Kommunikationsmanagement

Für das ATO bezogene Kommunikationsmanagement ist grundsätzlich die Systemkomponente ATO-OB (ATO-onboard, fahrzeugseitig) verantwortlich. Die ATO-OB baut eine Kommunikationsverbindung zu ATO-TS auf, sobald die Zugnummer (NID_OPERATIONAL) zusammen mit der ETCS-ID (NID_ENGINE) von ETCS-OB und der ATO-OB übertragen worden sind ([i], Kapitel 10.1.2.1). Diese Kommunikationsverbindung wird von der ATO-OB auch grundsätzlich erst wieder abgebaut, wenn das Fahrzeug den ETCS L2 / ATO Bereich verlässt ([i], Kapitel 10.1.2.6).

Geht die Kommunikationsverbindung zwischenzeitlich verloren und es liegen weiterhin eine gültige Zugnummer und ETCS ID in der ATO-OB vor, versucht ATO-OB die Verbindung wiederaufzubauen. Liegt außerdem während der Kommunikationsunterbrechung ein gültiges Journey Profil und Segment Profil vor und alle weiteren Bedingungen sind erfüllt, kann die ATO-geführte, automatische Fahrt fortgesetzt werden.

Je nach implementierter Kommunikationstechnik zwischen ATO-OB und ATO-TS (siehe Kapitel 2.2.6), ist es möglich eine diskrete (z. B. stationsgebundene WLAN-Kommunikation) oder eine kontinuierliche Kommunikation zwischen ATO-OB und ATO-TS umzusetzen.

Es wird empfohlen eine kontinuierliche Kommunikation (z. B. 5G Public) zwischen ATO-OB und ATO-TS aufzubauen. Als Zielzustand wird die Ausrüstung des ATO relevanten Netzes mit dem zukünftigen Bahnfunkstandard FRMCS gesehen.

In der Migrationsphase bis zur fertigen Spezifikation und Einführung von FRMCS wird empfohlen auf eine derzeitig verfügbare Zwischenlösung zu setzen, die eine paketvermittelte, kontinuierliche Kommunikation ermöglicht. Dabei wird im Zusammenspiel mit der bereits vorhandenen fahrzeuginternen WLAN-Router-Lösung, der Einsatz von 4G Public empfohlen (siehe Kapitel 2.2.7).

Alle weiterführenden Betrachtungen wurden nur für den Applikations-Layer vorgenommen, da die fahrzeuginterne WLAN-Router-Lösung das gesamte Verbindungsmanagement sicherstellt.

Im Zusammenhang mit dieser empfohlenen Zwischenlösung muss hervorgehoben werden, dass mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit der Verlust von Telegrammen in der ATO-TS und ATO-OB Kommunikation zu erwarten ist. Diese Verluste sind insbesondere der Nutzung von öffentlichen Netzen geschuldet, die nicht auf den Bahnfunkverkehr optimiert sind und die Bahnkommunikation nicht priorisieren (können).

Diese Verluste von Telegrammen können sich insbesondere in den Betriebsstellen auswirken, in denen jeweils eine ETCS-Aufnahme sowie die Übertragung von ATO-Journey Profilen und Segment Profilen stattfinden kann.

Funktional können sich diese Verluste von Telegrammen dahingehend auswirken, dass insbesondere Journey Profile und/oder Segment Profile nicht zeitgerecht übertragen werden können und somit der betroffene Zug manuell geführt werden muss. Dies ist insbesondere relevant beim Aufstarten eines Zuges. Sobald dann eine Kommunikationsverbindung aufgebaut ist, wird das fehlende Journey Profil /oder Segment Profil nachgeladen. Damit wird ein nachträglicher Übergang in das ATO-geführte automatische Fahren, auch während der Fahrt, möglich.

Die Verlustwahrscheinlichkeit kann durch die Optimierung der Netzplanung der Public Provider insbesondere an den neuralgischen Punkten minimiert werden (siehe Kapitel 5.3).

Kritisch sind die funktionalen Auswirkungen einer hohen Verlustwahrscheinlichkeit von Telegrammen in der ATO-TS und ATO-OB Kommunikation im Szenario ATO/TMS zu bewerten, da ein Großteil der potenziellen Funktionen zeitkritisch ist und ohne eine kontinuierliche Kommunikation ihre optimierende Wirkung verfehlten. Damit kann davon ausgegangen werden, dass FRMCS die Grundlage für das Szenario ATO/TMS bildet.

Sollte eine nicht spezifikationskonforme, diskrete Kommunikation (z. B. stationsgebundenes WLAN) aufgebaut werden, müssen u.a. folgende Einschränkungen und zusätzlichen Anforderungen an die ATO-Teilsysteme beachtet werden

1. Es findet grundsätzlich nur eine Kommunikation zwischen ATO-OB und ATO-TS statt, wenn sich das Fahrzeug im Bereich einer ATO-relevanten Kommunikationsabdeckung befindet. (diskrete Kommunikationsbereiche).
2. Funktionale Anforderungen und Bedingungen:
 - a. ATO-OB darf außerhalb der diskreten Kommunikationsbereiche nicht kontinuierlich versuchen, eine Verbindung zu ATO-TS aufzubauen.
 - b. ATO-OB muss innerhalb der diskreten Kommunikationsbereiche grundsätzlich eine Verbindung zu ATO-TS aufbauen.
 - c. Es können nur in den diskreten Kommunikationsbereichen Journey Profiles (ATO-TS nach ATO-OB), Segment Profiles (ATO-TS nach ATO-OB) sowie Statusmeldungen (ATO-OB nach ATO-TS) übertragen werden
 - d. Damit sollte ATO-TS grundsätzlich ein Journey Profile definieren und an ATO-OB übertragen, das mindestens von einem diskreten Kommunikationsbereich in einen weiteren diskreten Kommunikationsbereich reicht, um sicher zu stellen, dass ein Update des Journey Profiles übertragen werden kann.
 - e. Damit muss definiert werden, wie mit ATO-OB-Statusmeldungen umgegangen wird, wenn keine Verbindung ATO-OB und ATO-TS besteht sowie wenn eine diskrete Verbindung aufgebaut ist:
 - i. Dies betrifft sowohl das Management von Statusmeldungen in der ATO-OB,
 - ii. Die (gebündelte) Übertragung von Statusmeldungen von ATO-OB nach ATO-TS,
 - iii. Sowie das Management und die Verarbeitung der Statusmeldungen in der ATO-TS.

2.4.4.2.2 Management von Fahrplänen / Journey Profiles

Aufgrund der prinzipiellen Systemkonfiguration von ATO-Light (siehe Definition ATO-Light in Kapitel 2.4.2.2.2) können Fahrpläne und damit auch Journey Profiles nicht dynamisch in ATO-TS definiert werden. Darum müssen grundsätzlich zwei Szenarien in diesem Zusammenhang betrachtet werden. Die Unterscheidung der Szenarien erfolgt entlang der in der ATO-TS projektierten Fahrpläne, als Normalfahrplan und als Nicht-Normalfahrplan (abweichender Fahrplan).

Die Unterscheidung von Normalfahrplan zu Nicht-Normalfahrplan erfolgt entlang der Definition von Fahrplänen mit Zugnummern zurzeit der Projektierung der ATO-TS. Wenn abweichende Zugfahrten mit Fahrplänen mit Zugnummern in der ATO-TS projektiert werden können bzw. konnten, können diese auch mit ATO gefahren werden.

Zugfahrten, die einem definierten und projektierten Fahrplan mit Zugnummer folgen, aber zwischendurch abgebrochen werden (z. B. geplant A-B-C-D, Zug fährt nur bis A-B-C) können bis zum Abbruch durch ATO geführt werden. Fährt der Zug dann entlang eines definierten und projektierten Fahrplans mit Zugnummer zurück, mit dem Startbahnhof des vorherigen Fahrtabbruchs (z. B. C-B-A), kann diese Fahrt ebenfalls mit ATO geführt werden.

Die Auswahl der Fahrpläne erfolgt über die Zugnummerneingabe durch den Tf am ETCS-DMI beim Aufstarten:

1. Normalfahrplan
 - a. Alle zugspezifischen Fahrpläne werden für eine bestimmte Zeitperiode in der ATO-TS projektiert und müssen durch ATO-TS in Verbindung zu den Zugnummern verwaltet werden.

- b. Diese in der ATO-TS projektierten Fahrpläne werden im Rahmen dieses Berichtes als Normalfahrplan bezeichnet.
- 2. Nicht-Normalfahrplan
 - a. Fahrpläne, die von den in der ATO-TS projektierten Fahrplänen abweichen, werden im Rahmen dieses Berichtes als Nicht-Normalfahrplan bezeichnet.
 - b. Das dynamische Management von Journey Profiles durch abweichende Fahrpläne oder abweichend eingestellten Fahrstraßen, im Vergleich zum Normalfahrplan, der in der ATO-TS projektiert ist, ist durch die Systemkonfiguration von ATO-Light grundsätzlich nicht möglich.
 - c. Damit ist es zum Beispiel nicht möglich ad hoc abweichend eingestellte Fahrstraßen, kurzfristig geplante Umfahrungen, Störfahrpläne oder Baufahrpläne dynamisch im ATO-System zu erfassen, als Journey Profile zu definieren und mit ATO abzufahren.
 - d. Weiterhin ist es nicht möglich, zum ursprünglichen Fahrplan abweichende Timing Points zu definieren. Damit kann weiterhin eine automatische Führung des Fahrzeugs durch ATO erfolgen, aber ATO-OB kann kein optimierte ATO Geschwindigkeitskurve entlang der neuen Timing Points kalkulieren und abfahren.
 - e. Das Management von abweichenden Fahrplänen und abweichend eingestellten Fahrstraßen ist eine potenzielle Funktion des Szenarios ATO/TMS (siehe Kapitel 2.4.8).

Hinsichtlich der Übertragung der Journey Profiles erfolgt bei bestehender Kommunikationsverbindung zwischen ATO-OB und ATO-TS spezifikationskonform entweder:

1. eine Anfrage durch die ATO-OB und eine Übertragung eines Journey Profils von ATO-TS an ATO-OB für den Fall, dass kein aktuelles Journey Profil in der ATO-OB vorliegt oder das Ende des aktuellen Journey Profiles erreicht wird **oder**
2. eine Übertragung eines aktualisierten Journey Profiles von der ATO-TS an die ATO-OB, wenn aktualisierte Informationen vorliegen. Diese Übertragung ist, wie oben beschrieben, nicht relevant für das Szenario ATO-Light mit einer statischen ATO-TS

2.4.4.2.3 Management von ATO-Streckenatlas / Segment-Profiles

Bei bestehender Kommunikationsverbindung von ATO-OB und ATO-TS erfolgt spezifikationskonform eine Anfrage durch ATO-OB und Übertragung eines Segment Profiles von ATO-TS an ATO-OB für den Fall, dass in einem aktuellen Journey Profile mindestens ein Segment Profile referenziert wird, das nicht in der ATO-OB in der relevanten Version vorhanden ist.

Um Übertragungen von Segment Profilen zur Unzeit (während des laufenden Betriebes und ggf. parallel zur Übertragung von Journey Profilen) zu vermeiden und damit Verzögerungen im betrieblichen Ablauf zu reduzieren, wird folgendes Vorgehen empfohlen:

1. Die initiale Übertragung der Segment Profiles für den gesamten ETCS-Level-2- / ATO-Bereichs an alle ATO-OBs muss bestenfalls vor der ersten ATO-geführten Fahrt erfolgen, solange keine Zeitrestriktionen hinsichtlich eines Fahrplans bestehen.
2. Die Übertragung von neuen Versionen von Segment Profiles sollte ebenfalls erfolgen, solange keine Zeitrestriktionen hinsichtlich eines Fahrplans bestehen. Um dies zu gewährleisten sollte die Übertragung von neuen Versionen von Segment Profiles erfolgen, sobald dieses neuen Segment Profile vorliegt, unabhängig von aktuellen Journey Profiles.

Damit muss ATO-OB in der Lage sein, die Segment Profiles des gesamten ETCS-Level-2-/ ATO-Bereichs zu speichern und zu verwalten.

Gleichzeitig muss ATO-TS in der Lage sein, die Übertragung der Segment Profiles für den gesamten ETCS-Level-2-/ ATO-Bereich an alle ATO-OBs zu verwalten.

2.4.4.2.4 Bedienung des ATO-Systems

Aufgrund der prinzipiellen Systemkonfiguration von ATO-Light (siehe Kapitel 2.4.2.2) und die damit einhergehenden Einschränkungen gibt es grundsätzlich keine Möglichkeit der Bedienung der ATO-TS im Regelbetrieb. Deshalb können u.a. folgenden ATO-Funktionen explizit nicht umgesetzt werden:

1. Dynamische Fahrplan / Journey Profile-Verwaltung (Siehe Kapitel 2.4.4.2.2)
2. Kommandierung des Auslassens eines geplanten Haltepunktes (siehe Kapitel 2.4.3.3.1)
3. Kommandierung des Festhaltens eines Fahrzeugs an einem geplanten Haltepunkt (Siehe Kapitel 2.4.3.3.1)
4. Dynamische Verwaltung von ATO-Sperrzonen (ATO inhibition areas)
5. Dynamische Verwaltung von DAS-Sperrzonen (DAS inhibition areas)

Als minimal mögliche Bedienung der ATO-TS wird aber empfohlen, die zentrale, netzweite Möglichkeit des Ein-/Ausschalten bzw. De-/ Aktivieren des ATO Betriebes und des DAS Betriebes zu implementieren (siehe Kapitel 2.4.8).

Die Bedienmöglichkeiten der ATO-OB bleiben davon unberührt (siehe Kapitel 2.4.4.3.2).

2.4.4.2.5 Automatische Türsteuerung durch ATO und ETCS

Grundsätzlich ist es möglich auch für GoA2 eine automatische Türsteuerung durch die Systeme ATO-spezifikationskonform zu implementieren.

Die Bedingungen und Grundlagen für die Umsetzung dieser Funktion sind u.a.:

1. Die ATO-bezogene Projektierung für die Türsteuerung, wie zum Beispiel spezifische betriebliche Bedingungen je Bahnsteig / Haltepunkt (Höhe, Lage usw.)
2. Die Umsetzung von zusätzlichen ETCS-Funktionalitäten und -Projektierungen (z. B. Paket 69)
3. Zusätzliche Eingriffe in die Fahrzeugsteuerung, insbesondere der Türsteuerung
4. Weiterführende Analyse der Laufzeiten aller involvierten Systeme, um eine Verlängerung der Gesamtsystemlaufzeiten mit einem neuen System in der Verarbeitungskette und damit eine Verschlechterung der derzeitigen Situation zu vermeiden

Bei der heutigen Lösung kann der Tf vor dem Stillstand (Geschwindigkeit unter 60 km/h) des Fahrzeugs die Türöffnung kommandieren, die dann durch die fahrzeuginterne Türsteuerung nach der Stillstanderkennung umgesetzt wird.

Damit ist gegenüber der heutigen Lösung keine Vorteilhaftigkeit der automatische Türsteuerung durch ATO in Form von Zeitgewinn im Abfertigungsprozess zu erwarten.

Basierend auf dieser Aufwands-Nutzen-Abwägung und in Abstimmung mit dem Betreiber, der die heutige Lösung beibehalten möchte, wird explizit nicht empfohlen, die automatische Türsteuerungsfunktion durch ATO zu implementieren.

2.4.4.2.6 Schutzstreckenmanagement

Spezifikationskonform werden Schutzstrecken („Powerless sections“) grundsätzlich durch ATO berücksichtigt. Jedoch übernimmt ATO explizit nicht das Kommandieren von Hauptschalter aus/ein oder Stromabnehmer senken/heben.

Damit verbleibt diese HS-/SA-Bedienung in der Verantwortung des Tfs, wie derzeitig implementiert.

ATO-OB nutzt die Projektierungsinformation der relevanten Schutzstrecken, basierend auf den Infrastrukturinformationen, die von der ATO-TS in den Segment Profiles übertragen werden, in der Berechnung der Traktions- und Bremskommandos an die Fahrzeugleittechnik.

2.4.4.2.7 Geschwindigkeitsbegrenzung für Bahnhofs durchfahren im Tunnel

Um den Komfort der Passagiere am Bahnsteig im Tunnel zu erhöhen, ist im Tunnel der S-Bahn-Stammstrecke die Geschwindigkeit von Durchfahrten in Bahnhöfen zu begrenzen, ohne dass die eigentliche Streckengeschwindigkeit begrenzt ist. Dies gilt insbesondere für Leerfahrten, die keinen betrieblichen Halt haben und somit in voller Geschwindigkeit den Bahnhof passieren (können).

Diese Begrenzung ist entweder mit ATO über entsprechende Journey Profiles umzusetzen oder es ist sicherzustellen, dass diese Fahrten ohne ATO-Führung stattfinden.

Da diese Geschwindigkeitsbegrenzungen derzeit nicht sicherungstechnisch überwacht werden, bietet sich die Möglichkeit der Einrichtung von „Nicht signalisierten Langsamfahrstellen“, die nicht von ETCS / dem Signalsierungssystem überwacht werden. Der ATO Spezifikation ([i], Kapitel 6.4.2.12) folgend, können diese nicht signalisierten Langsamfahrstellen („operational speed restriction“) außerhalb von ETCS definiert und lediglich ATO für die Berechnung der Geschwindigkeitskurve vorgegeben werden.

Aufgrund der prinzipiellen Systemkonfiguration des Szenarios ATO-Light können diese Nicht signalisierten Langsamfahrstellen nicht dynamisch in der ATO-TS definiert werden (siehe Kapitel 2.4.2.2.2), sondern müssen zugnummernbezogen in Fahrplänen projektiert werden.

Das Management von nicht signalisierten Langsamfahrstellen ist damit ein weiteres Potential für das Szenario ATO/TMS (siehe Kapitel 2.4.8).

2.4.4.2.8 Transition GoA1 nach GoA2 und GoA2 nach GoA1 während der Fahrt

Es wird empfohlen, die Transition zwischen den GoA-Leveln während der Fahrt grundsätzlich zu erlauben bzw. umzusetzen.

2.4.4.3 ATO-OB

2.4.4.3.1 DAS-Funktionalität

Es wird empfohlen die Driving Advisory System (DAS)-Funktionalität spezifikationskonform umzusetzen. Dabei werden dem Tf Geschwindigkeitstrajektorien auf dem ETCS-DMI angezeigt, wenn hinreichende Informationen zur Berechnung der Geschwindigkeitstrajektorien in der ATO-OB zur Verfügung stehen und ATO-OB nicht im Status „ATO engaged“ selbst die Fahrzeugführung übernimmt.

Grundlage hierfür ist, neben der Umsetzung von Subset 125 ([i]) die spezifikationskonforme Integration von ETCS OB und ATO-OB mit der Umsetzung des Subset 130 ([iii]) und zusätzlich CR1238.

2.4.4.3.2 ATO-OB-Bedienung

Es wird empfohlen, neben dem abgesetzten Hardwaretaster des ATO-Startknopfs (siehe Abschnitt 2.4.4.5.2) die Bedienung der ATO-OB nur über das ETCS-DMI (siehe Kapitel 2.4.4.6) auszuführen.

Grundlage hierfür ist die spezifikationskonforme Integration von ETCS-OB und ATO-OB mit der Umsetzung von Subset 125 ([i]), Subset 126 ([ii]), Subset 130 ([iii]) und Subset 026 zusammen mit CR1238.

Weiterhin wird empfohlen, eine Bedienmöglichkeit zur manuellen Aktivierung/Abschaltung des ATO-Systems auf dem Fahrzeug zu implementieren.

2.4.4.3.3 Management von Beschleunigungswechseln „Jerk Control“

Grundsätzlich wird durch ATO-OB die maximal mögliche Beschleunigung (sowohl Bremsen und als auch Beschleunigen) entlang der ATO-relevanten Geschwindigkeitskurve umgesetzt. Diese maximale Beschleunigung muss jedoch aus Komfortgründen insbesondere im Zusammenhang mit Beschleunigungswechseln („Jerk-Control“-Funktion) begrenzt werden.

So muss z. B. ein Beschleunigungswechsel beim Bremsen auf ein Halt-zeigendes Signal zur Beschleunigung nach einer Signalaufwertung (Fahrtbegriff) mit einem Übergang realisiert werden, um den Anfahrruck im Fahrzeug zu reduzieren.

Es wird empfohlen die „Jerk-Control“-Funktion umzusetzen

2.4.4.3.4 ATO-OB-Statusmeldungen an ATO-TS – Zeitintervall

Der Spezifikation in Subset 125 folgend kann die ATO-OB event- und zeitintervallbasiert Statusmeldungen an die ATO-TS senden.

Es muss grundsätzlich entschieden werden, ob zeitintervallbasierte Statusmeldungen versendet werden sollen und wenn ja, in welchem Intervall.

Es wird empfohlen, diese Entscheidung auch entlang der Verarbeitungskapazität der ATO-TS sowie der Konfiguration und der Leistungsfähigkeit der ATO-Funkübertragung zu fällen.

2.4.4.4 ATO-Funkübertragung

Alle Aspekte zur ATO-Funkübertragung werden in den Kapiteln 2.2 (Systemkomponente GSM-R) und 2.4.4.2.1 (Kommunikationsmanagement) behandelt.

2.4.4.5 Fahrzeugintegration (TCMS)

Grundsätzliche Anmerkungen:

1. Es ist prinzipiell notwendig, eine Schnittstelle von ATO in die Fahrzeugleittechnik (TCMS) zu implementieren, damit die Befehle von ATO (Fahren, Bremsen) durch das Fahrzeug umgesetzt werden können. Die Anzeigen von ATO müssen im vorhandenen DMI analog ETCS dargestellt werden.
2. Das Subset 139 ([x]) gilt nur für Neufahrzeuge, ebenso ist die Integration einer ATO-OB in ein Fahrzeug bei Neubauprojekten unkritisch.

- a. Bei der S-Bahn Stuttgart ist die Besonderheit, dass es sich um Bestandsfahrzeuge handelt (ET 423: BJ 1998-2007, ET 430: BJ ab 2012), daher muss die nachträgliche Integration von ATO fahrzeugspezifisch betrachtet werden.
- 3. Eine weitere Besonderheit kann darin bestehen, dass ETCS/ATO nicht unbedingt vom Fahrzeughersteller geliefert wird, sondern von einem dritten Anbieter.

2.4.4.5.1 Integration mit Fahr-Brems-Hebel

Integration ATO mit Fahr-Brems-Hebel (*engl. TBL- traction brake lever*) ([ii], Kapitel 9.10.2.2):

Widerspruch in Subset 125, Kap 8.2.9.1 fordert Nullstellung (sonst Warn-Sound) Kap. 9.10.9 definiert sowohl Nullstellung als auch Fahrstellung als erlaubt für den Fall „ATO engage“. Grundsätzlich wird empfohlen, auch im Zusammenhang mit der Transition von GoA1 nach GoA2 während der Fahrt, dass die Transition nach „ATO Engaged“ / GoA2 sowohl mit der Fahrstellung als auch der Neutralstellung des Fahr-Brems-Hebels erlaubt ist.

Integration mit Leittechnik: Die Betätigung des ATO-Tasters darf nur wirken (d.h. der Zug fährt los), wenn alle anderen Bedingungen für die Abfahrt erfüllt sind, z. B. MA von ETCS, geschlossene Sicherheitsschleife.

2.4.4.5.2 ATO-Startknopf

1. Es wird empfohlen den „ATO-Startknopf“ als Hardwaredaster umzusetzen
2. Zusätzlich zum ATO-Startknopf auf dem Führerpult sollte auch an den Seitenpanelen jeweils ein weiterer ATO Startknopf angebracht werden (analog Seitenabfahreinrichtung).
3. Es sollte weiterhin geprüft werden, ob weitere ATO-Startknöpfe zusätzlich an den Seitenpanelen am Fenster implementiert werden: Der Tf kann damit direkt nach dem Türenschließen mittels Seitenmikrophon die Abfahrt initialisieren, wobei die Zeit eingespart wird, die der Tf braucht um das Fenster zu schließen, zum Platz zu gehen und sich hinzusetzen – und erst dann den Startknopf auf dem Führerpult zu betätigen (Potential: ca. 3 Sek.).
 - a. Signalsicht und Bremseingriff sind wegen ETCS-Führung nicht erforderlich. Ggf. ist ebenfalls ein zusätzlicher Grünschleifen-Anzeiger einzubauen, falls der Tf den Anzeiger auf dem Pult nicht erkennen kann, wenn er am Fenster steht.
 - b. Die Betätigung des ATO-Seiten-Startknopfes muss die Sifa für ca. 5 Sek. überbrücken.
 - c. Diese Option kann den Zeitgewinn nur dann generieren, wenn konsequent das Zentrale Schließen („Zwangsschließen“) angewendet wird. Dies ist derzeit nicht der Fall (nur Hbf und Stadtmitte), ist aber sinnvoll, um wesentliche Zeitpuffer zu generieren. In diesem Zusammenhang sei die Empfehlung gegeben, auf der gesamten Stammstrecke das zentrale Schließen einzuführen, um die Abfertigungszeit wesentlich zu reduzieren!

2.4.4.5.3 Laufzeiten

1. Die Laufzeiten im Fahrzeug sind zu analysieren. Als kritischer Punkt werden die Fahrzeugbusse (MVB, WTB) gesehen.
2. Zum einen wird sich die Signaldichte im Fahrzeugbus allein schon durch ETCS erhöhen, durch ATO kommen weitere Signale hinzu. Es muss im Rahmen der Fahrzeugintegration sichergestellt werden, dass der MVB/WBT die zusätzlichen Signale problemlos verarbeiten kann.

2.4.4.5.4 Bremsen, Beschleunigen, Fahren

1. Regulärer Bremsbetrieb:
 - a. Bei aktiviertem ATO wird i.d.R. die höchste Bremskraft angefordert, um eine möglichst zeit-optimale Fahrweise zu gewährleisten.
 - b. Bei den Fahrzeugen ET 423 und 430 ist als maximale Betriebsbremskraft die „Vollbremsung“ (VB, zur Abgrenzung: NICHT Schnellbremsung!) vorgesehen.
 - i. Die VB wird i.d.R. nur mit der E-Bremse abgedeckt, nur im hohen (ca. 120–140 km/h) Geschwindigkeitsbereich und zum Anhalten wird die ep-Bremse mittels Blending zugesteuert.
 - ii. Die quasi alleinige Nutzung der E-Bremse ist möglich, weil diese Fahrzeuge sehr stark motorisiert sind (vier von fünf Drehgestellen sind angetrieben) und die E-Bremse daher sehr hohe Bremskräfte erzeugen kann.
 - iii. Dieses Bremsregime ist auch unter ATO-Führung beizubehalten. Grund: Höhere Bremskräfte durch ep-Blending auch im mittleren Geschwindigkeitsbereich würden vor allem den Verschleiß erhöhen, andererseits wahrscheinlich keine signifikante Wirkung erzielen da der Gleitschutz die Bremskraft wieder reduzieren würde.
2. Manueller Bremseingriff des Tfs im AD-mode
 - a. Hierbei wird durch die Spezifikation ([ii], Kapitel 9.10.5.2) bereits gefordert, dass während des Bremsvorganges keine Traktion mehr (d.h. Wechsel in Status READY) aufgebaut werden darf. Bei einem manuellen Bremseingriff muss ATO deaktiviert werden.
3. Betätigung Not-Aus
 - a. Dabei wird mittels Hardware (Schnellbremsung mit Fahrbremshebel oder Schlagtaster) am Fahrzeug eine Schnellbremse ausgelöst. Dadurch sind die Bedingungen für den Betrieb von ATO nicht mehr gegeben ([ii], Kapitel 9.1.1.1 b) → und ATO-OB wechselt in den Mode NA)
4. Fahrgast-Notbremse mit aktiver NBÜ
 - a. Erläuterung der NBÜ-Funktion bei ET 423/430: Die Fahrzeuge fahren grundsätzlich mit permanent eingeschalteter NBÜ – diese wird bereits beim Aufrüsten aktiviert. Die NBÜ wirkt je nach Situation in zwei Modi:
 - i. Strecken-Fahrt: eine betätigte FGN bewirkt im Führerstand eine Alarmmeldung. Parallel dazu wird die Sprechstelle am Standort der betätigten Notbremse aktiviert. Es wird KEINE Bremsung ausgelöst.
 - ii. Anfahrt am Bahnsteig: Bei einer Anfahrt nach Türfreigabe wird bis zu einer gewissen Geschwindigkeit/Fahrstrecke sofort eine Zwangsbremsung eingeleitet, sobald eine FGN betätigt wird.
 - b. ATO muss beide Modi unterstützen, bzw. nicht aktive behindern. Im Modus i) darf es weder einen Bremsbefehl geben, noch ist die Zugkraft abzuschalten. Schutzziel ist die Ausfahrt aus dem Tunnel bzw. das Erreichen des nächsten Bahnsteiges. Im Modus ii) darf ATO die Zwangsbremsung nicht überbrücken bzw. wird durch die Bremsung ausgeschaltet (= disengaged).
5. Fahren:
 - a. Ein ATO-Fahrbefehl wird an die Leittechnik weitergegeben. Dabei ist grundsätzlich mit der maximal möglichen Zugkraft zu beschleunigen.

- b. Die Umsetzung eines automatischen Adhäsionsmanagement wird nicht empfohlen (siehe Abschnitt 2.4.3.3.3).

2.4.4.5.5 Integration mit Fahrzeugdiagnosedaten

Fahrzeugseitige Beschränkung der Geschwindigkeit: Es gibt Fahrzeugstörungen (z. B. Ausfall eines Antriebes), die dazu führen, dass die Leittechnik eine reduzierte Höchstgeschwindigkeit vorgibt (Anzeige im Display). In diesem Fall muss die Restriktion über die TCMS-Schnittstelle an ATO weitergegeben werden, oder der Tf muss ATO in diesem Fall abschalten. Es ist auszuschließen, dass ATO den Zug auf die normale v_{max} (nach JP) beschleunigt.

2.4.4.6 ETCS-OB (Anforderungen)

2.4.4.6.1 ETCS-Spezifikationsbasis

Mit dem Fokus auf ATO over ETCS besteht die ETCS-relevante Spezifikationsbasis im Wesentlichen aus den Subsets 125, 130 und dem CR1238, der vornehmlich die Subsets 026, 023, 027, 034, 035, 039, 058 und 104 anpasst.

Für die Integration von ATO und ETCS, Schwerpunkt ETCS OB und ATO-OB, muss diese ETCS Spezifikation nach dem Subset 026 in der Version v3.6.0 zusammen mit dem CR1238 ([i]) gefordert bzw. umgesetzt werden.

Grundsätzlich führt der CR1238 folgende Änderungen ein:

1. Definition einer ETCS-Gesamtsystemarchitektur, inklusive des Subsystems ATO-On-board (ATO-OB) und der neuen ETCS-OB-Funktion „ATO control function“
2. Einführung des neuen ETCS-Modes AD „Automatic Driving“, inklusive der relevanten Anzeigen, Verantwortlichkeiten, Informationsverarbeitung, Mode-Transitionen und Telegrammanpassungen
3. Definition des Datenaustausch zwischen ETCS-OB und ATO-OB
4. Funktionale Anpassungen beim RBC, wobei der CR1238 die Möglichkeit eröffnet alte RBC-Version beizubehalten und trotzdem ATO zu implementieren

Zusätzlich zum CR1238 definiert das Subset 125 Anforderungen an ETCS-OB, sowie den expliziten Hinweis, dass bestimmte Warnungen im AD-Mode durch die ETCS-OB unterdrückt werden (siehe [ii], §7.1.3.5).

Insgesamt wird empfohlen, die ETCS-OB und ATO-OB zusammen auszuschreiben und zu implementieren sowie in der ETCS-Ausschreibung die Umsetzung der ETCS-Spezifikation nach dem Subset 026 in der Version v3.6.0 zusammen mit dem CR1238 ([i]) zu fordern.

2.4.4.6.2 Zugdateneingabe ETCS-OB und ATO-OB

Um den Prozess des Aufstartens eines Zuges, auch im Zuge eines Richtungswechsels zu beschleunigen, muss sichergestellt werden, dass die Zugdaten, die auf dem ETCS-DMI / der ETCS-OB durch den Tf eingegeben werden, der ATO-OB zur Verfügung gestellt werden.

Dazu muss die spezifikationskonforme Integration von ETCS-OB und ATO-OB mit der Umsetzung der Subsets 125 ([ii]) und 130 ([iii]) sowie des CRs 1238 ([i]) gewährleistet werden.

Dazu sollte untersucht werden, ob eine zusätzliche Bestätigung der Zugdateneingabe nach der Übertragung an die ATO-OB entfallen kann.

Es wird empfohlen die Zugdateneingabe und die gesamten Start-of-Mission-Prozess (Aufstarten der Systeme) als Ganzes zu analysieren und im Rahmen des Umsetzungsprojektes zu optimieren.

2.4.5 Weiterführende Aspekte

2.4.5.1 Verschleiß-Monitoring

Im Erfahrungsaustausch mit anderen Betreibern zum Einsatz von ATO wurde thematisiert, dass erhöhter Verschleiß an den Fahrzeugen beobachtet worden ist.

Aufgrund der Bremskonfiguration der bestehenden Fahrzeugflotte (siehe Abschnitt 2.4.4.5.4), die größtenteils die verschleißarme E-Bremse einsetzt, ist dieser Effekt bei der Umsetzung von ATO bei der Stuttgarter S-Bahn nicht zu erwarten.

Trotzdem sollten insbesondere zu Beginn der Nutzung von ATO-Analysen vorgenommen werden, ob das Fahren mit ATO sich auf den Verschleiß und die Instandhaltung der Fahrzeuge auswirkt und ggf. entsprechend reagiert werden.

ATO sollte als Gesamtsystem diese Analysen durch statistische Auswertungen der ATO-Geschwindigkeitsprofile und realen Fahrten unterstützen.

Ggf. muss eine Anpassung der ATO-OB-Optimierung der ATO-Geschwindigkeitsprofile vorgenommen werden.

2.4.5.2 Blockteilung 30 m vs. 55 m

Es kann davon ausgegangen werden, dass ATO als System die Implementierung von sowohl 30 m-Blöcken als auch von 55 m-Blöcken unterstützt.

Dabei müssen aber in einem nächsten Schritt zunächst die getroffenen Annahmen aus der betrieblichen Simulation in der Stufe der Entwurfsplanung theoretisch an konkreten Infrastrukturen überprüft werden.

2.4.6 Betriebliche Nutzenbewertung (EBWU)

Eine betriebliche Nutzenbewertung wurde im Rahmen einer eisenbahnwissenschaftlichen Untersuchung (siehe Kapitel 2.4) durchgeführt.

2.4.7 Marktbetrachtung und Erfahrungsaustausch

Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurden mehrere Herstellerworkshops mit potenziellen ATO-Systemherstellern abgehalten. Es wurden die Hersteller Alstom, Bombardier, Siemens, Stadler und Thales eingeladen. Lediglich Stadler folgte dieser Einladung nicht.

Insgesamt kann als Ergebnis festgehalten werden, dass die für ATO-relevanten Produkte entweder bereits vorhanden und zumindest im internationalen Umfeld im Einsatz sind. Oder laut der Planung der Hersteller rechtzeitig für die Implementierung bei der S-Bahn Stuttgart fertig entwickelt werden und zugelassen sein werden. Dabei lässt sich im Einzelnen folgendes zusammenfassen:

1. Siemens

- a. kann auf ATO-Produkte für ATO over ETCS im Einsatz im Thameslink-Projekt verweisen.
 - b. ist außerdem im Projekt ETCS / ATO S-Bahn Hamburg involviert, in dem eine Inbetriebnahme von ATO für eine Teilstrecke für 2021 angestrebt wird.
2. Alstom
 - a. kann auf ATO-Produkte und ATO Erfahrungen im CBTC- / Metro-Bereich verweisen.
 - b. hat aber kein Produkt das ATO over ETCS umsetzt, sondern verknüpft ETCS-OB und ATO-OB mit einem Gateway-Adapter.
 - c. Alstom hat aber bestätigt, wenn die ATO-Spezifikation einen stabilen Stand erreicht hat, wird die dementsprechende Entwicklung auf Basis der bestehenden Produkte angestoßen.
 3. Bombardier
 - a. kann auf derzeitige ATO-OB-Entwicklungsaktivitäten verweisen, die laut Planung 2021 oder 2022 ein zugelassenes ATO-Produkt, das ATO over ETCS umsetzt, anstreben.
 - b. Bombardier hat explizit unterstrichen, dass grundsätzlich alleinig Bombardiers Schnittstellen-Knowhow für die auszurüstenden Fahrzeuge zur Verfügung steht bzw. für die Integration von ETCS-OB und ATO-OB genutzt werden kann.
 4. Thales
 - a. kann auf derzeitige ATO-OB- und ATO-TS-Entwicklungsaktivitäten verweisen, die laut Planung 2022 ein zugelassenes ATO-Produkt, das ATO over ETCS umsetzt, anstreben.

Weiterhin wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie ein Austausch mit anderen ATO-relevanten Projekten angestrebt bzw. sichergestellt. Dabei sind insbesondere folgende Projekte zu nennen:

1. ETCS / ATO S-Bahn Hamburg
2. RATP, ATO-Projekt für die Ausrüstung der RER Line A (Metro System)
3. ATO-Pilot, SBB

Auch aus dem Austausch mit diesen Projekten, wie auch den Herstellerworkshops kann abgeleitet werden, dass es entweder bereits fertige ATO over ETCS Produkte am Markt gibt oder aber diese auf jeden Fall vor der angestrebten Inbetriebnahme bei der S-Bahn Stuttgart zur Verfügung stehen werden.

2.4.7.1 Systemverantwortung

Im Rahmen der Implementierung von ATO als auf Strecke und Fahrzeug verteiltes System muss diskutiert werden, wie mit dem prinzipiellen Auseinanderfallen von Kosten und Nutzen umgegangen werden soll.

Für die Kosten kann davon ausgegangen werden, dass sowohl Fahrzeugkosten (Eisenbahnverkehrsunternehmen) als auch Streckenkosten (Infrastrukturbetreiber) anfallen. Hinsichtlich des Nutzens besteht jedoch die Möglichkeit, insbesondere wenn kapazitätsoptimiertes Fahren und nicht energieoptimiertes Fahren im Vordergrund steht, dass der Nutzen größtenteils beim Infrastrukturbetreiber durch die Vermarktung der zusätzlichen Trassen anfällt.

Um diesem Auseinanderfallen von Kosten und Nutzen grundsätzlich entgegenzuwirken, können beispielhaft folgende Aktionen gesetzt werden:

1. Übernahme der Fahrzeugkosten, bei der Investition und / oder Betrieb
2. Nachlässe oder Aufschläge bei den Trassenpreisen für den Einsatz von ATO
3. Definition von Netzzugangskriterien

4. Umsetzung einer energieoptimierten Fahrweise

Die obenstehende Liste ist eine unvollständige Stichwortliste, mit dem Ziel das grundsätzliche Problem zu skizzieren und für spätere Analysen vorzubereiten.

Damit wird empfohlen, die Frage der Systemverantwortung auch unter Berücksichtigung der Aspekte Finanzierung, Nutzung und Vorteilhaftigkeit zu analysieren.

2.4.8 Potenzialanalyse ATO/TMS

Wie eingangs diskutiert, kann aufbauend auf dem Szenario ATO-Light das Szenario ATO/TMS umgesetzt werden.

Für das Szenario ATO/TMS ist im folgenden Kapitel eine überblicksartige Potentialanalyse dokumentiert, mit dem Ziel eine grundlegende, mögliche Entwicklungsrichtung sowie Potentiale für eine weitere Untersuchung aufzuzeigen.

Explizit kein Ziel der Potentialanalyse im folgenden Kapitel, ist eine detaillierte Analyse oder Machbarkeitsstudie zum Thema Szenario ATO/TMS zu erstellen.

2.4.8.1 Funktionale Einschränkungen ATO-Light

Aus dem Blickwinkel TMS sind folgenden Punkte als grundsätzliche, funktionale Einschränkungen für das Szenario ATO-Light, basierend auf der gewählten Systemarchitektur zusammenzufassen:

1. Verarbeitung (nur) von statischen Fahrplänen
2. Verarbeitung (nur) von statischen Infrastrukturdaten
3. Keine Bedienung von ATO-TS

Unter statischen Fahrplänen wird dabei verstanden, dass jeweils gültige, längerfristige Fahrpläne in regelmäßigen Intervallen in der ATO-TS projektiert (übertragen) werden. Gerade vor dem Hintergrund der nötigen Projektierung wird bei den Intervallen von der mittelfristigen und langfristigen Fahrplanung mit einem Zeithorizont von mehr als 6 Monaten ausgegangen. Damit ist es nicht möglich kurzfristige Dispositionentscheidungen zu berücksichtigen.

Unter statischen Infrastrukturdaten wird dabei verstanden, dass die Daten der ATO-relevanten Infrastruktur in der ATO-TS projektiert werden und keine temporären Aspekte, wie zum Beispiel Reibwertminderung oder Langsamfahrstellen ohne eine erneute Projektierung berücksichtigt werden können.

Ausgehend von diesen Einschränkungen wird im Folgenden die Potentialanalyse für ATO/TMS vorgenommen

2.4.8.2 TMS-Definition & vertikale Integration

Unter TMS wird in diesem Zusammenhang die dispositive Leittechnik der Streckenseite verstanden, die als zentrale Instanz für die Betriebsführung im gesamten, relevanten Netz agiert. Die folgenden Beschreibungen formen ein Denkmodell, das dazu dienen soll, die Diskussion auf eine einheitliche Basis zu stellen. Dieses Modell erhebt keine Ansprüche auf Vollständigkeit.

Die zentralen Aufgaben von TMS sind die kontinuierliche, globale Betriebsoptimierung sowie die Unterstützung des TMS-Bedieners durch (Teil-) Automatisierung von Betriebsentscheidungen und Kommunikationsprozessen.

In der folgenden Beschreibung des Modells (siehe Abbildung 48) wird mit dem Fokus auf ATO für die grundständische, funktionale Systemarchitektur davon ausgegangen, dass TMS einen (immer) aktuellen Fahrplan pflegt, der den derzeitigen Stand des Betriebs abbildet und damit als Kern der gesamten TMS-Betriebsführung dienen kann.

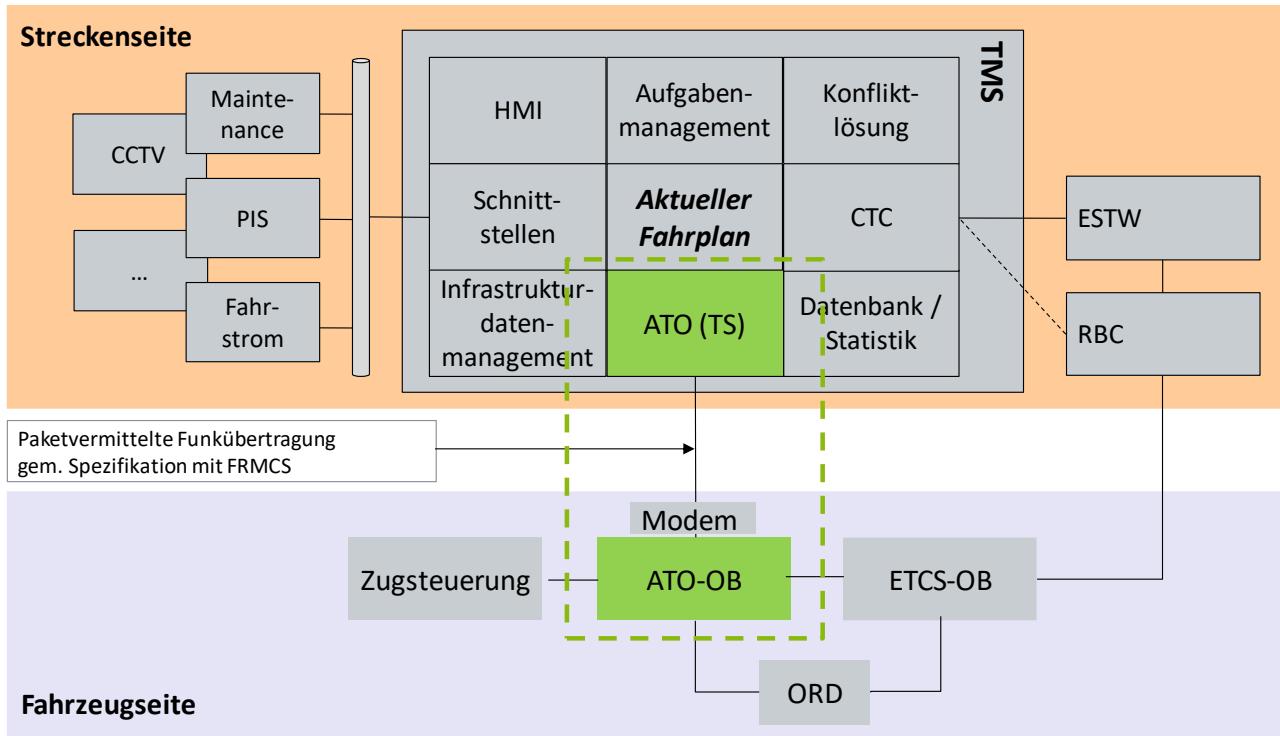


Abbildung 48: ATO/TMS; prinzipielle Systemarchitektur

Um diesen aktuellen Fahrplan gruppieren sich die weiterführenden Funktionen, wie zum Beispiel:

1. CTC-Funktion
 - a. Steuerung und Überwachung (Monitoring) der angeschlossenen Stellwerke und RBCs.
 - i. Ableitung von Fahrstraßenkommandos an das Stellwerk aus dem aktuellen Fahrplan
 - ii. Überwachung des Betriebes basierend auf Statusmeldungen der Stellwerke und RBCs
2. Konfliktlösung und Optimierung
 - a. Sollte der aktuelle Fahrplan nicht (mehr) mit der Realität übereinstimmen und / oder es Konflikte im Betriebsablauf geben (Konflikt: Ausschließende Nutzung oder geplante Nutzung von Ressourcen, wie zum Beispiel ein Gleisabschnitt) reagiert TMS dementsprechend, um den aktuellen Fahrplan wieder konfliktfrei und in Einklang mit der Realität zu bringen. Je nach TMS-Ausbauweise und Konfiguration können dabei folgenden, grundsätzlichen Funktionsstufen zum Einsatz kommen:
 - i. Konflikterkennung
 - ii. Lösungsvorschläge zur Anpassung des Fahrplans an den TMS-Bediener
 - iii. Automatische Auswahl und Implementierung eines bestimmten Lösungsvorschlags

- b. Darüber hinaus ist es grundsätzlich möglich, dass TMS den Betriebsablauf nach definierten Regeln optimiert und so zum Beispiel bevorzugt Fahrstraßen ausnutzt, wenn diese nach einer dispositiven Entscheidung verfügbar sind oder das vorausschauende Fahren umsetzt.
 → Für beide Aspekte, die Konfliktlösung sowie die Optimierung kann ATO einen signifikanten Beitrag leisten, da der Regelkreis mit der automatischen Kommunikation an das Fahrzeug geschlossen wird.
- 3. Aufgabenmanagement
 - a. Abgeleitet aus dem aktuellen Fahrplan werden für alle involvierten TMS-Bediener spezifische Aufgaben abgeleitet, die zum einen dazu dienen, die zeitgerechte Abarbeitung sicher zu stellen als auch die Auslastung aller TMS-Bediener über die Zeit zu überwachen.
- 4. HMI
 - a. Bedienschnittstelle für die Interaktion mit TMS an sich und auch mit Stellwerken und RBC, sowie ggf. weiteren angeschlossenen Systemen, wie zum Beispiel auch ATO-TS.
- 5. Schnittstellen
 - a. TMS bietet die Möglichkeit einer Vereinheitlichung der Schnittstellen, auch um die betriebsrelevante Kommunikation an Umsysteme sicherzustellen.
- 6. Infrastrukturdatenmanagement
 - a. Grundsätzlich müssen TMS und alle angeschlossenen Systeme über die gleiche Infrastrukturbasis verfügen. Dies gilt auch für angeschlossene streckenseitige ATO-Systeme.
 - b. Für TMS müssen in dieser Infrastrukturbasis auch kurzfristige Einschränkungen, wie zum Beispiel Streckensperrungen oder Weichenfehler abgebildet werden, um den aktuellen Betrieb abbilden zu können.
- 7. Datenbank / Statistik
 - a. Speicherung aller relevanten Daten für die weitere statistische Auswertung
- 8. ATO (-TS)
 - a. Entweder als integrierte TMS-Komponente oder als eigenständiges, angeschlossenes System kann TMS aus dem aktuellen Fahrplan alle ATO-relevanten Informationen ableiten und an die weiteren ATO-Komponenten übertragen.

Abgeleitet aus dem aktuellen Fahrplan kann über die streckenseitige ATO-Funktion (ATO-TS) das jeweils aktuelle Journey Profil generiert, direkt an das Fahrzeug übertragen und dort umgesetzt werden.

Damit ist parallel zum sicherheitsrelevanten Informationsfluss **Bediener → TMS → Stellwerk / RBC → Fahrzeug** (ETCS OB) ein weiterer betrieblicher Informationsfluss **Bediener → TMS → ATO-TS → ATO-OB** etabliert, der die vertikale, lückenlose Integration des betrieblichen Entscheidungsflusses ermöglicht.

2.4.8.3 Ergebnis Potenzialanalyse ATO/TMS

Zum Teil komplementär zu den Einschränkungen des Szenarios ATO-Light, basierend auf der gewählten Systemarchitektur lassen sich die Potentiale des Szenarios ATO/TMS zusammenfassen. Dabei ist die Bedienung der ATO-TS Streckeneinrichtung über das TMS grundlegende Voraussetzung die Potentiale umzusetzen.

Dynamisches Fahrplanmanagement

Basierend auf dem aktuellen Fahrplan, als die Grundlage für alle betrieblichen Prozesse, die mit TMS gesteuert werden, eröffnet TMS das Potential auch kurzfristige Fahrplanänderungen durch ATO zu berücksichtigen

bzw. an ATO-TS zu übermitteln, in Journey Profile umzusetzen und automatisch geführt durch ATO-OB abzufahren.

Damit wird es zum Beispiel möglich:

1. Vordefinierte Fahrpläne (z. B. Saison- oder Event-Fahrpläne) mit ATO abzufahren
2. Fahrplanänderungen, wie z. B. geplante oder ungeplante Umfahrungen, betriebliches Störfallmanagement oder auch veränderte Fahrplanzeiten mit ATO abzufahren
3. Ad hoc eingestellte Fahrstraßen, die vom Fahrplan abweichen, mit ATO abzufahren

Das dynamische Fahrplanmanagement betrifft dabei sowohl geänderte Fahrwege als auch geänderte, betrieblich relevante Zeiten, wie Ankunfts-, Abfahrts- oder Haltezeiten. So kann z. B. auch ein geänderter Fahrplan mit neuen Ankunftszeiten durch ATO verarbeitet und u.U. energieoptimal abgefahren werden.

2.4.8.3.1 Dynamisches Infrastrukturmanagement

TMS eröffnet das Potential, die Infrastrukturbasis der ATO-TS in bestimmten Grenzen anzupassen und damit die reale Betriebssituation abzubilden oder auf externe Störungen zu reagieren.

So eröffnen sich zum Beispiel die Möglichkeiten eines zentralen Adhäsions-Managements, über die Definition oder Rücknahme von verminderten Reibwerten oder die Definition von „ATO inhibit areas“ / „DAS inhibit areas“ (Bereichen in denen die ATO- / DAS-Funktionalität deaktiviert ist).

2.4.8.3.2 Übertragung / Verarbeitung dynamische Fahrzeuginformationen

TMS eröffnet das Potential, die regelmäßigen Reports, die ATO-OB spezifikationsgemäß an ATO-TS schickt, weiter im Betriebsprozess zu verarbeiten. Dabei werden unter anderem Informationen übertragen, wie zum Beispiel derzeitige Position und Geschwindigkeit, ATO-bezogene Statusinformationen (Adhäsion (wenn verwendet), Stillstand/Bewegung etc.), geschätzte Ankunftszeit am nächsten Verkehrs- oder Betriebshalt, verringelter Reibwert (durch den Tf oder externe Systeme detektiert).

Diese dynamischen Fahrzeuginformationen können sowohl im laufenden Betrieb als auch für spätere, statistische Auswertung genutzt werden.

2.4.8.3.3 Spezifikationsbasis

Grundsätzlich sieht die ERA-ATO-Spezifikation die Einbindung von TMS in die ATO-Systemarchitektur vor und hat mit dem Subset 131 (ATO-TS / TMS Interface Specification) ([vi]) einen ersten Entwurf einer Schnittstellenpezifikation vorgelegt.

Jedoch ist das Subset 131 in einem sehr frühen Entwurfsstadium und außerdem gibt es keine einheitliche, internationale Spezifikation für TMS als eigenständiges System.

2.4.8.3.4 Voraussetzungen und Migrationsbetrachtung

Die Grundlage für die Implementierung des Szenarios ATO/TMS stellt die Umsetzung des Szenarios ATO-Light aus ATO-Sicht dar. Bei der Migration von ATO-Light zu ATO/TMS muss „lediglich“ die Schnittstelle zwischen TMS und ATO-TS sowie gegebenenfalls das Funkübertragungssystem zwischen ATO-TS und ATO-OB angepasst werden.

Die Schnittstelle zwischen TMS und ATO-TS muss auf die spezifischen Gegebenheiten des TMS angepasst werden und wahrscheinlich muss ATO-TS funktional für die Verarbeitung des TMS aufgerüstet werden. Die grundsätzliche Verarbeitung von Journey Profiles und Segment Profiles sowie die Kommunikation zwischen ATO-TS und ATO-OB bleibt unverändert.

Für das Funkübertragungssystem zwischen ATO-TS und ATO-OB wird zunächst angenommen, dass die empfohlene Lösung aus dem Zusammenspiel mit der bereits vorhandenen fahrzeuginternen WLAN-Router-Lösung und dem Einsatz von 4G Public, durch den zukünftigen Bahnfunkstandard Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) abgelöst werden muss.

Hauptaspekt für die Einführung des Szenarios ATO/TMS ist jedoch die Implementierung eines zentralen TMS. Diese Implementierung ist neben der systemtechnischen Umsetzung mit einem hohen Grad an Re-Organisation vieler betriebsrelevanter Prozesse verbunden.

So verschiebt sich zum Beispiel die Aufgabe des Fahrdienstleiters von der lokalen Bedienung des sicheren Stellwerks bzw. des RBCs hin zu dispositiven Verkehrsführung im gesamten Netz. Außerdem werden viele Kommunikations- und Entscheidungsprozesse im TMS zentralisiert und verlangen nach weiteren, veränderten oder neuen Rollenbildern, wie zum Beispiel die Einbindung der Eisenbahnverkehrsunternehmen, die direktere Koordination mit Instandhaltungsverantwortlichen, die direktere Kommunikation mit der Passagierinformation usw.

Außerdem werden voraussichtlich weitere vor- und nebengelagerte betriebliche Prozesse in TMS integriert oder durch TMS verändert, wie zum Beispiel die Erstellung des kurz-, mittel- und ggf. langfristigen Fahrplans, die Planung und Implementierung von Langsamfahrstellen oder die Planung und Implementierung von Baustellen.

Da diese Re-Organisation viele Stakeholder innerhalb der Bahn beeinflussen wird, ist hier ein Augenmerk bei der Spezifikation und Umsetzung von TMS zu legen.

Entlang dieser Überlegungen wurde in der Studie abgeschätzt (siehe Abbildung 49), dass eine Inbetriebnahme von ATO/TMS ab 2030 realisierbar wäre

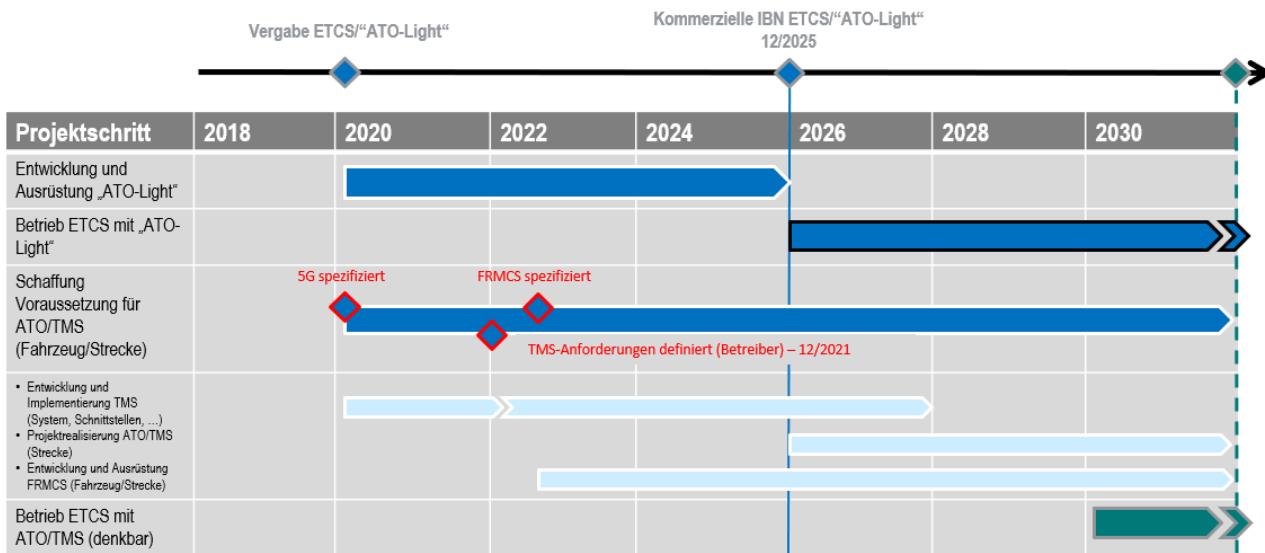


Abbildung 49: Potenzieller Weg für die Implementierung von ATO/TMS

2.4.8.3.5 Stand TMS-Entwicklung/-Implementierung

In Deutschland gibt es keine vollständige Spezifikation oder Implementierung eines TMS bei Vollbahnen.

National und international sind bereits einige proprietäre Systemlösungen im CBTC-Bereich (Metro, Lightrail), sowie Teillösungen für Vollbahnen, wie z. B. RCS bei der SBB vorhanden.

Weiterhin gibt es in mehreren europäischen Ländern (u.a. Schweiz, Dänemark, Schweden und Norwegen) laufende Projekte für die Entwicklung und Implementierung von integrierten TMS auch bei Vollbahnen.

2.5 Planungsanalyse

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA3 des Arbeitspaketes AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.5.1 Überblick

2.5.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Ziel dieser Hauptaufgabe ist es, die Anwendbarkeit der bestehenden Planungsregelwerke für die S-Bahn Stuttgart in Verbindung mit ETCS L2 zu prüfen und Anpassungsbedarf zu identifizieren. Dabei ergeben sich für InGe konkret die folgenden Aufgaben:

- Dokumentation des Anpassungs- bzw. Ergänzungsbedarfs
- Erarbeitung von Lösungsvorschlägen

Die Änderungen des Regelwerkes selbst sind nicht Bestandteil des Arbeitspaketes.

Bei der Analyse der Planungen der DB PSU erfolgt keine fachliche Überprüfung im Sinne einer internen Qualitätskontrolle oder Planprüfung. Die zur Verfügung gestellten Planungen sind Arbeitsgrundlage für die InGe und dienen als Hilfsmittel um den Anpassungsbedarf zu identifizieren.

Für die Erweiterung des Betrachtungsraumes in Schritt 2 lagen keine Planungen für eine ETCS-Ausrüstung vor, sodass die Analyse nur an Hand von Grobplanungen, die durch die InGe erstellt wurden, durchgeführt werden konnte.

2.5.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

In Tabelle 45 sind sämtliche Handlungsempfehlungen aus Sicht der Planungsanalyse aufgeführt:

Tabelle 45: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Planungsanalyse

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
PA-1	Es wird empfohlen eine separate Planungsrichtlinie für ETCS L2 bei S-Bahnen zu erstellen	Die Planungsvorschrift muss als Grundlage für die Überarbeitung der EP und der anschließenden AP vorliegen.	DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
PA-2	<p>Es wird empfohlen Querprofile von allen Signalstandorten zu erstellen, um die erforderliche Profilfreiheit für die Montage der Signale und Ne 14-Tafeln auch bei den beengten Tunnelverhältnissen nachzuweisen.</p> <p>Für die Ne 14-Tafeln sind außerdem Anpassungen der Halterungen erforderlich.</p> <p>Für die Montage der Blockkennzeichen auf der Schwelle ist eine UiG zu erstellen.</p>	Vermessung der geplanten Standorte, um die Realisierung der Planung nachzuweisen.	DB PSU
PA-3	Es wird empfohlen für die Abweichungen (keine TBK im Bereich 300 m vor einem Vorsignal; keine weitere Unterteilung eines langen Gleisfreimeldeabschnitts) vom LH ESTW eine UiG zu erstellen.	Die Legitimation der Abweichungen von LH ESTW ist Grundvoraussetzung für die geplante ETCS-Ausrüstung.	DB PSU (Erstellung) DB Netz (Freigabe)
PA-4	Es wird empfohlen nur zwingend erforderliche Rangierstraßen vorzusehen und dabei zu berücksichtigen, dass eine Unterteilung durch TBK nicht möglich ist.	Die Rangierstraßen sind nur im Bereich von Abstellanlagen (wo keine TBK erforderlich sind) zwingend notwendig. Eine technische Lösung für Rangierstraßen mit einer Teilung durch TBK liegt derzeit nicht vor. Eine mögliche Bereitstellung von Zügen an Bahnsteigen muss als Zugfahrt erfolgen.	DB PSU
PA-5	Eine Verkürzung von Mindestblocklängen auf 30 m ist gemäß CR 953 unter bestimmten Bedingungen denkbar. Dies muss in der Entwurfsplanung verifiziert werden.	---	DB PSU
PA-6	Gemäß heutigem Regelwerk wäre bei der vorgesehenen Anordnung der Blockkennzeichen „Rücken an Rücken“ für jedes Blockkennzeichen eine einzelne Balise zu planen. Technisch ist aber nur eine Balise für beide Blockkennzeichen erforderlich. Dementsprechend wird empfohlen, das Optimierungspotential bei der Anordnung der Datenpunkte an Blockkennzeichen (DP Typ 22) in den weiteren Planungsphasen weiterzuverfolgen und durch eine UiG/ZIE zu legitimieren bzw. in das neu zu erstellenden S-Bahn-Planungsregelwerk aufzunehmen.	---	DB PSU (Erstellung) DB Netz (Freigabe)

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
PA-7	Es wird empfohlen bereits während der Erstellung der BAST mit dem Betrieb festzulegen nur kurze D-Wege für 40 km/h für die Rückfallebene Ks vorzusehen, da eine Unterteilung von D-Wegen durch TBK nicht möglich ist. Ebenso ist der Verzicht auf alleinstehende Zs 3 zur Heraufsignalisierung zu berücksichtigen.	Für den Regelbetrieb unter ETCS sind kapazitätsfördernde Blockteilungen durch TBK den längeren D-Wegen in der Rückfallebene unter Ks vorzuziehen. Eine technische Lösung für die Anordnung von TBK in D-Wegen liegt derzeit nicht vor.	DB Netz

2.5.2 Methodik

Grundlage der Untersuchung sind die vom Auftraggeber übergebenen Richtlinien und Planungsstände der Entwurfsplanung ETCS und ESTW zunächst mit Planungsstand September 2017 und dann überarbeitet mit Stand November 2017. Die Planungsstände bilden die Arbeitsgrundlage und wurden als Hilfsmittel zur Identifizierung von Abweichungen vom Regelwerk eingesetzt. Daraus wurde der erforderliche Anpassungsbedarf der Richtlinien definiert.

Für die Erweiterung des Betrachtungsraumes in Schritt 2 lagen keine Planungen für eine ETCS-Ausrüstung vor, sodass die Analyse nur an Hand von Grobplanungen, die durch die InGe erstellt wurden, durchgeführt werden konnte.

Für die Lösungsfindung wurden neben der Anpassung des Regelwerks auch immer geprüft, ob eine Anpassung der vorgelegten Planung möglich ist und dadurch der Anpassungsbedarf des Regelwerks minimiert oder sogar vermieden werden kann. Die Lösungsvorschläge resultieren somit immer auch aus Abwägungen zwischen Risiken, Kosten, technischer Machbarkeit und möglicher Inbetriebnahmetermine.

Schwerpunktmäßig wurden die in Abbildung 50 dargestellten vier Arbeitspakete gebildet, die bestimmte Anwendungsfälle zusammenfassen

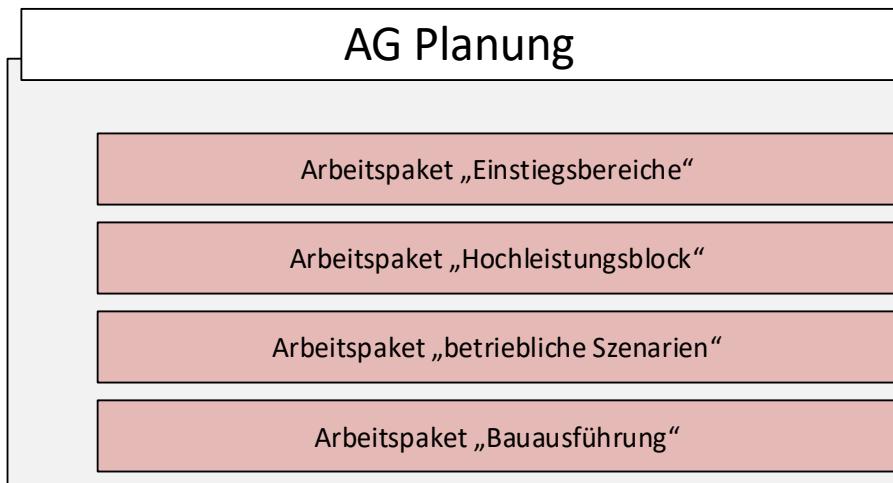


Abbildung 50: Arbeitspakete der AG Planung

Im Arbeitspaket „Einstiegsbereiche“ wurden die für ETCS L2 erforderlichen Einstiegsbereiche (Aufnahme nach ETCS) untersucht. Dabei sind neben den Vorgaben aus der Planungsvorschrift auch die möglichen Wechselwirkungen im Zulauf der Stammstrecke mit der teilweise parallel verlaufenden Fernbahn überprüft worden. Ebenfalls ist der Übergangsbereich Bad Cannstatt und der dort derzeit geplante Levelwechsel L2/L1 betrachtet worden.

Im Arbeitspaket „Hochleistungsblock“ wurde untersucht, ob ETCS bei besonders kurzen Blockabschnitten im Stationsbereich angewandt werden kann und welche Besonderheiten dabei zu beachten sind. Neben den ETCS-Funktionalitäten sind hierbei auch die Stellwerksfunktionalitäten zu betrachten.

Im Arbeitspaket „betriebliche Szenarien“ wurde geklärt, welche betrieblichen Anwendungsfälle zu berücksichtigen sind und ob daraus ggf. zusätzliche Besonderheiten für die ETCS-Planung resultieren. Schwerpunkt bilden hierbei die Stationen Schwabstraße einschließlich der Wendeanlage und Stuttgart Hbf.

Im Arbeitspaket „Bauausführung“ wurde untersucht, ob sich durch den Einsatz von ETCS ggf. zusätzliche Anforderungen an die Bauausführung ergeben.

2.5.3 Detailbeschreibung

2.5.3.1 Ergebnisse

2.5.3.1.1 Einstiegsbereiche

Aus den Planungen ergeben sich für die Stammstrecke drei Einstiegsbereiche. Aus Stuttgart-Vaihingen kommend hinter dem Haltepunkt Universität, Haltepunkt Stuttgart Nordbahnhof (aus Feuerbach/Zuffenhausen kommend) und aus Bad Cannstatt kommend. Daraus ergeben sich insgesamt sechs sogenannte Einstiegssignale, die in allen Einstiegsbereichen jeweils höhengleich im Regel- und Gegengleis angeordnet sind. In Tabelle 46 wird dies verdeutlicht.

Es handelt sich bei allen Einstiegen um eindeutige, reguläre Einstiege. Die grundsätzlichen Anforderungen gemäß der Richtlinie 819.1344 Abs. 4.3.1.1 (8), wonach der Einstieg an einem Hauptsignal ohne Kennlicht mit

PZB innerhalb einer Unterzentrale erfolgen soll, werden erfüllt. Auch die Anforderungen an eine ausreichende GSM-R-Abdeckung sind gegeben (siehe Kapitel 2.2.4).

Abweichungen von den Vorgaben aus der Planungsrichtlinie ergeben sich in den folgenden Punkten:

- 1) Der Mindestabstand zwischen dem Einstiegssignal und dem darauffolgenden Signal muss mindestens 450 m betragen. (Ril 819.1344 Abs. 4.3.1.1 (8) 2. Absatz Tabelle 2)
- 2) Der Mindestabstand zwischen dem Einstiegssignal und dem darauffolgenden Hauptsignal soll in Abhängigkeit von der Neigung zwischen 1320 m und 1480 m bei angenommenen Neigungsverhältnissen zwischen +10‰ bis -10‰ liegen. (Ril 819.1344 Abs. 4.3.1.1 (10) Tabelle 5)

Tabelle 46: Abstände Einstiegssignal – Folgesignal (in der Grundstufe – nur Stammstrecke)

Einstiegsbereich	Einstiegssignal	Folgesignal	Abstand	Vorgabe 1	Vorgabe 2
Stuttgart-Vaihingen	43A	43ZR22	445 m	nein	nein
	43AA	43ZS11	807 m	ja	nein
Stuttgart Nord- bahnhof	42G	42ZU69	402 m	nein	nein
	42GG	42ZU68	417 m	nein	nein
Bad Cannstatt	42H	42ZW67	653 m	ja	nein
	42HH	42ZW67	642 m	ja	nein
	42HH	42ZW46	1088 m	ja	nein

Durch die Erweiterung des Ausrüstungsbereichs verschieben sich die Einstiegsbereiche entsprechend. Die Muss-Anforderungen, wonach zwischen dem Einstiegssignal und dem Folgesignal 450 m erforderlich sind, werden in allen Erweiterungsbereichen erfüllt. Der neigungsabhängige Mindestabstand gemäß Ril 819.1344 kann nicht bei allen Einstiegen gewährleistet werden, ist aber für S-Bahnen vernachlässigbar.

Tabelle 47: Abstände Einstiegssignal – Folgesignal (in der vollen Ausbaustufe)

Einstiegsbereich	Einstiegssignal	Folgesignal	Abstand	Vorgabe 1)	Vorgabe 2)
Stg-Zuffenhausen	K909/K912	U11	1202 m	ja	nein
		U12	1287 m	ja	nein
	S705/S708	U2	1207 m	ja	nein
		U3	1225 m	ja	nein
		U12	1321 m	ja	ja
	S705	U4	1225 m	ja	nein
Stg-Vaihingen	111/112	A291/A292	1984 m	ja	ja
	52G/52GG	52ZU12/52ZU13	950 m	ja	ja
	438	436	1456 m	ja	ja
	442	FF	5790 m	ja	ja
Stg-Bad Cannstatt	G	52	555 m	ja	nein
	GG	P2	1542 m	ja	ja
		P3/P4	1518 m	ja	ja
	H	P1/P2	719 m	ja	nein
	HH	P2	914 m	ja	nein
		P3/P4	890 m	ja	nein
	K	P2	925 m	ja	nein
		P3/P4	901 m	ja	nein

2.5.3.1.2 Wechselwirkungen mit der Fernbahn

Da im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke ausschließlich artreiner S-Bahn-Verkehr durchgeführt wird, können Wechselwirkungen nur in den Bereichen Nordbahnhof/Feuerbach und Bad Cannstatt auftreten. Der Einstiegsbereich aus Stuttgart-Vaihingen kommend befindet sich bei derzeitigem Planungsstand bereits im Tunnel hinter der Station Universität und ist damit bereits artrein und nicht zu betrachten.

Für den Einstieg im Bereich Nordbahnhof sind im Zulauf die Balisen für die Netzeinwahl (DP Typ 1) und den Funkaufbau (DP Typ 2) zum S-Bahn-RBC erforderlich. In diesen Bereichen verlaufen parallel auch die Gleise der Fernbahn, wo ebenfalls Balisen für Netzeinwahl und Funkaufbau zum Fernbahn-RBC vorgesehen sind. An einigen Stellen bestehen Überleitmöglichkeiten, wobei im Störungsfall immer nur die S-Bahn auf die Fernbahngleise wechseln kann, da die S-Bahn-Gleise nicht den erforderlichen Regellichtraum für die Fernbahn bieten. Die Datenpunkte sind in der aktuellen Planung so positioniert worden, dass keine gegenseitigen Wechselwirkungen auftreten bzw. der Funk entsprechend abgebaut wird (DP Typ 5).

Im Bahnhof Bad Cannstatt gibt es diverse Überleitmöglichkeiten zwischen den S- und Fernbahn-Gleisen. Die Balisen für die Netzeinwahl und den Funkaufbau zum S-Bahn-RBC befinden sich noch auf der freien Strecke bzw. im Einfahrbereich, wo eine eindeutige Trennung zwischen S- und Fernbahn gewährleistet ist. Im Bereich der Weichenverbindungen, wo ein Wechsel zwischen den S- und Fernbahn-Gleisen möglich ist, sind entsprechende Balisen für den Funkabbruch (DP Typ 5) geplant. Dementsprechend sind auch für den Bereich Bad Cannstatt die Datenpunkte so positioniert worden, dass die Wechselwirkungen berücksichtigt werden.

Durch die Erweiterung des Ausrüstungsbereichs ist der artreine S-Bahn-Verkehr nicht mehr gewährleistet. Insbesondere im Bereich Vaihingen/Flughafen ist eine gemeinsame Ausrüstung für die S- und Fernbahn erforderlich und dementsprechend zu berücksichtigen.

2.5.3.1.3 Übergang nach L1LS

Die Einrichtung von ETCS Level 1 Limited Supervision (L1LS) ist gemäß „Ausrüstungskonzept Knoten Stuttgart“ für den Bahnhof Bad Cannstatt vorgesehen. Grundsätzlich empfiehlt die InGe eine Ausrüstung des Bahnhofs Bad Cannstatt mit ETCS Level 2. Aber aus der Ausrüstung mit ETCS Level L1LS ergibt sich an der Schnittstelle zwischen dem Stellwerk der Stammstrecke und dem Stellwerk Bad Cannstatt ein Übergangsbereich, wo ein Levelwechsel von ETCS L2 nach ETCS L1LS bzw. umgekehrt für die Fahrten in Richtung Stammstrecke vorzusehen ist.

Der Levelwechsel ist bisher weder in der Entwurfsplanung für ETCS L2 auf der S-Bahn-Stammstrecke noch in den Planungen für den Bereich Bad Cannstatt enthalten. Im LH BTSF ist der Levelwechsel ebenfalls noch nicht beschrieben. Dementsprechend kann die Überprüfung der Levelwechsel nur auf Annahmen basieren. Die Richtlinie 819.1348 beschreibt im Abs. 14.5 die entsprechenden Anforderungen für einen direkten Levelwechsel von L2 nach L1LS bzw. im Abs. 14.6 die Anforderungen für einen direkten Levelwechsel von L1LS nach L2. Grundsätzlich ist für einen direkten Levelwechsel immer eine ETCS-L2-Ausrüstung nach Baseline 3 erforderlich. Gemäß Aufgabenstellung ist eine solche Ausrüstung vorgesehen, sodass diese Anforderung bereits erfüllt wird. Es wird davon ausgegangen, dass der Wechsel von L2 nach L1LS an den Signalen 4201 und 4202 erfolgt. Demnach handelt es sich um einen eindeutigen Levelwechsel am Hauptsignal. Die Hauptsignale benötigen eine entsprechende L1LS-Ausrüstung (mit Voll-LEU).

Für die Gegenrichtung ist für den Wechsel von L1LS nach L2 vom Grenzsignal (Einstiegssignal L2) bis zum nächstfolgenden Hauptsignal eine Doppelausrüstung L1LS und L2 erforderlich. Gleichzeitig ist in dem Abschnitt eine PZB-Ausrüstung als Rückfallebene erforderlich. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Anforderungen in dem Abschnitt von Signal 42H bzw. 42HH bis zu den Signalen 42ZW67 bzw. 42ZW46 umsetzen lassen.

Durch die empfohlene Ausdehnung der ETCS L2-Ausrüstung auf den Stellbereich Bad Cannstatt entfällt die Betrachtung für einen möglichen Übergang nach L1LS.

2.5.3.1.4 Hochleistungsblock

Ein wesentlicher Bestandteil der ETCS-L2-Ausrüstung im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke ist die Unterteilung der konventionellen Blockabschnitte (Ks ohne ETCS) in sogenannte Teilblockabschnitte durch Blockkennzeichen (TBK), früher LZB-Blockkennzeichen (LBK). Daraus ergibt sich ein sogenannter Hochleistungsblock, da besonders viele kurze Teilblöcke entstehen. Das Grundkonzept der Planung sieht, wie in Abbildung 51 dargestellt, insgesamt sieben Blockkennzeichen in den Stationsbereichen zwischen dem Hauptsignal vor dem Bahnsteig und dem Hauptsignal am Bahnsteigende vor. Die Anordnung der Blockkennzeichen wurde im Rahmen der Planungen durch die DB PSU dahingehend optimiert, dass eine möglichst dichte Zugfolge realisiert werden kann.

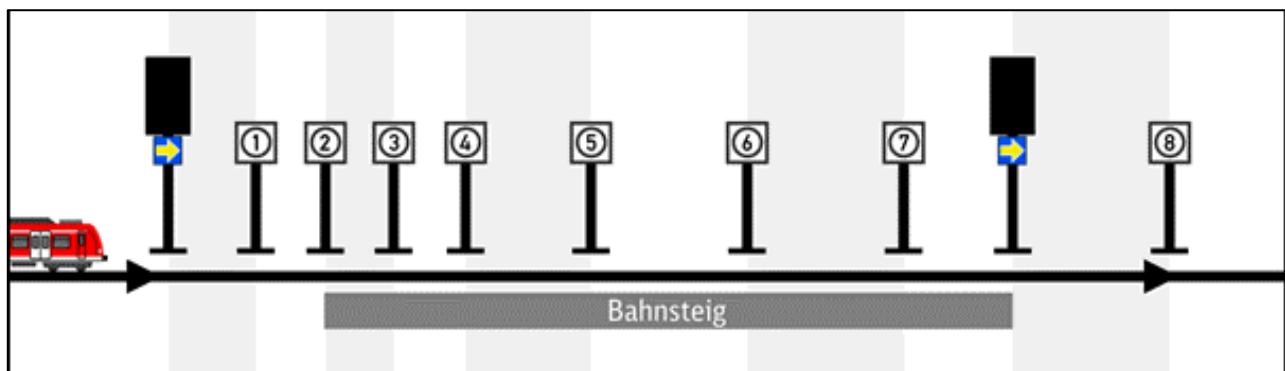


Abbildung 51: Mögliche Blockteilung im Haltebereich für ETCS-geführte Fahrzeuge (Prinzipskizze)

Dieses Konzept kann aus heutiger Sicht nicht umgesetzt werden, da dies weder dem Regelwerk entspricht noch durch die bestehenden Lastenhefte gedeckt ist.

Dennoch wurde das Konzept als Arbeitsgrundlage für den Abgleich mit dem ETCS-Regelwerk und insbesondere auch mit dem geltenden ESTW-Regelwerk genutzt. Dabei ist nicht nur die Richtlinie 819 zu betrachten, sondern es muss auch das zugehörige Lastenheft herangezogen werden. Konkret sind im „Lastenheft ESTW Teilheft F8 – Hochleistungsblock CIR-ELKE“ im Punkt 7 Vorgaben für die Planung von Stellwerksfunktionen enthalten. Gemäß „Lastenheft ESTW Teilheft F8 Zusatz 01 Hochleistungsblock ETCS L2“ ist der Hochleistungsblock CIR-ELKE als Referenzsystem für den Hochleistungsblock unter ETCS L2 anzusehen, sodass die Anforderung für CIR-ELKE unverändert auch für ETCS L2 gelten.

Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen für die Blockteilung im Stationsbereich, die in der bisherigen Planung im Erläuterungsbericht beschrieben wurden:

- „Anschließend an ein LBK ist ein separater Gleisfreimeldeabschnitt als Durchrutschweg ≥ 50 m einzurichten“ (LH Pkt. 7.6)
- „LBK dürfen nicht angeordnet werden im Bereich von 300 m vor einem Vorsignal, bei Zugstraßen im Bereich des D-Weges und im Bereich von Bahnhofsgleisen ist keine weitere Unterteilung eines langen (nicht durch Weichen unterteilten) Gleisfreimeldeabschnitts in mehrere Teilzugstraßen zulässig“ (LH Pkt. 7.10 a) c) d)).

Neben dem Abgleich des Lastenheftes mit dem Grundprinzip der Blockteilung im Stationsbereich ergeben sich noch weitere Abweichungen in der vorliegenden Planung:

- „Es dürfen keine LBK im Bereich zwischen Start und Ziel von Rangierstraßen angeordnet werden“ (LH Pkt. 7.10 f)
- „Alleinstehende Geschwindigkeitsanzeiger (Zs 3) in Zugstraßen mit Teilung durch LBK dürfen nur eingerichtet werden, wenn das Zielgleis ein Stumpfgleis ist, eventuell erforderliche verkürzte D-Wege eingerichtet sind oder das Zielgleis durch Lichtsperrsignale am Standort der LBK unterteilt ist (letzteres nur mit ZiE)“ (LH Pkt. 7.11).

Weiterhin ergeben sich auch die folgenden Abweichungen von dem Lastenheft ETCS:

- „Das System muss mit Signalabständen (zwischen Hauptsignalen/ Markerboards) größer/gleich 100 m arbeiten können“ (LH BTSF3 ID 1770). Dazu gibt es bereits das CR 953, welches als Arbeitsstand vorliegt, welches unter bestimmten Voraussetzungen eine Verkürzung der Mindestblocklängen auf 30 m zulässt (siehe auch Kapitel 3.1.2.3).

Für den Abgleich mit dem ETCS-Planungsregelwerk wurden bzgl. der Planung der Balisen Annahmen getroffen, da im Rahmen der Entwurfsplanung mit Ausnahme der Netzeinwahl und dem Funksystem keine weiteren Balisen geplant wurden.

Aus derzeitiger Sicht ist die Planung des Datenpunkttyp 26 (TSR-Datenpunkt) nicht regelwerkskonform möglich. Der Datenpunkt ist für alle Hauptsignale innerhalb des L2-Bereichs der Stammstrecke erforderlich, da der Gefahrpunktabstand bei allen Hauptsignalen kleiner als 325 m ist. Der Datenpunkt ist neigungsabhängig in einem Abstand von 720 m bis 860 m vor dem Signal zu planen. Weiterhin muss sich der TSR-Datenpunkt hinter dem zurückliegenden Signal befinden. Diese Anforderungen lassen sich bei den Signalfolgeabständen von ca. 300 m bis 400 m nicht umsetzen.

Die weiteren erforderlichen Datenpunkte können aus derzeitiger Sicht regelwerkskonform geplant werden. Jedoch zeigen sich Optimierungspotentiale (nur ein DP Typ 22 bei Blockkennzeichen Rücken an Rücken, Verzicht auf DP Typ 23, 24 im Stationsbereich), die durch Anpassungen des Planungsregelwerks genutzt werden sollten.

Für die Ausrüstung mit ATO gibt es derzeit noch keine Lastenhefte bzw. Regelwerke, die eine Ausrüstung beschreiben. Dementsprechend können auch keine Abweichungen dazu vorliegen. Im Rahmen der Untersuchungen ist festgestellt worden, dass die für ATO zusätzlich erforderlichen Datenpunkte im Rahmen der ETCS-Planung mit geplant werden sollten, um Optimierungspotentiale zu nutzen.

Im Rahmen der Untersuchungen für die Erweiterungen des Ausrüstungsbereichs wurde festgestellt, dass sich der Hochleistungsblock grundsätzlich übertragen lässt. Die Abweichungen zu den Lastenheften und Regelwerken bleiben dabei weiter bestehen. Neue Anforderungen oder Anpassungen konnten dabei an Hand der Grobplanungen nicht festgestellt werden.

2.5.3.1.5 Betriebliche Szenarien

Um den erforderlichen Ausrüstungsumfang für ETCS bestimmen zu können, müssen die Betriebsabläufe analysiert werden. Grundsätzlich verkehren alle S-Bahn-Fahrten in der Stammstrecke als Zugfahrten. Planmäßige Rangierfahrten sind nicht vorgesehen. Die in der Schwabstraße endenden S-Bahn-Züge fahren als Zugfahrt in die Wendeanlage und fahren auch als Zugfahrt wieder aus der Wendeanlage zum Bahnsteig und setzen dort wieder ein. Ein längeres Abstellen oder Abrüsten der Züge in der Wendeanlage ist nicht vorgesehen. Ebenso ist ein Stärken oder Schwächen am Bahnsteig nicht geplant.

Gleiches gilt für die Station Stuttgart Hbf (tief). Hier gibt es die Möglichkeit das sogenannte Wendegleis (Achse 333) zum Wenden zu nutzen. Auch hier erfolgen die Fahrten in das Wendegleis als Zugfahrt. Ein längeres Abstellen oder Abrüsten ist ebenfalls nicht vorgesehen. Stärken und Schwächen am Bahnsteig ist nicht geplant.

In der aktuellen Planung sind sowohl in der Schwabstraße als auch am Hauptbahnhof Rangiersignale geplant. Da ein planmäßiges Rangieren nicht vorgesehen ist, ist die Notwendigkeit zu hinterfragen. Bei einer Beibehaltung der Rangierstraßen ist für die o.g. Abweichung vom LH ESTW (Pkt. 7.10 f) eine technische Lösung zu entwickeln und über einen entsprechenden betrieblichen Ablauf für ETCS-geführte Züge zu entscheiden.

Im erweiterten Untersuchungsbereich sind ebenfalls Rangierstraßen vorhanden, die unter Umständen für die planmäßige Abwicklung des Regelbetriebs erforderlich sind. Im Rahmen der Erstellung der BAST für die Stammstrecke und den erweiterten Ausrüstungsbereich ist zu klären, welche Rangierstraßen unter Berücksichtigung der möglichen Einschränkungen bei der Planung von Teilblockkennzeichen zwingend erforderlich sind. Mögliche Kompensationsmaßnahmen wie z. B. Zugfahrt anstelle Rangierfahrt sind dabei auch unter Berücksichtigung der betrieblichen Vorgaben für ATO und der Haltedauer am Bahnsteig mit einzubeziehen.

2.5.3.1.6 Bauausführung

Neben der Analyse der Planungsfälle wurde im letzten Arbeitspaket überprüft, ob eine mögliche Bauausführung wie geplant erfolgen kann oder ob sich besondere Anforderungen ergeben.

Die Stammstrecke verläuft vollständig im Tunnel. Im Abschnitt Schwabstraße – Hbf erfolgen keine Umbauten, sodass der enge Bestandstunnel (Inbetriebnahme 1978) bestehen bleibt. Der Tunnel entspricht nicht den heute bei Neubauten erforderlichen Regelquerschnitten. Bauliche Anpassungen sind nicht möglich und auch die punktuelle Errichtung von Nischen für Signalschaltkästen ist ausgeschlossen. Daraus ergeben sich zwangsläufig besondere Anforderungen an die Konstruktion und Montage der erforderlichen Signale und der dazugehörigen Kabelanlage.

Der Tunnelabschnitt Hbf – Mittnachtstraße wird neu errichtet. Hier wurden bereits in der Planung entsprechende Nischen für die Signalschaltkästen vorgesehen.

In den bisherigen Planungsphasen sind keine Querprofile für geplante Signalstandorte erstellt worden. Aus den Bestandsunterlagen des Tunnels der Stammstrecke lassen sich im Querschnitt nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten für eine Signalanordnung ableiten. Neben den für die Ks-Signalisierung erforderlichen Hauptsignalschirmen und Zusatzanzeigern sind auch immer die Ne 14-Tafeln (ETCS-Halt-Tafeln) zu berücksichtigen, die am Standort der Hauptsignale angebracht werden müssen.

Gemäß Regelzeichnung (Rz) S 541.1 (Ausgabe 5) sind die Ne 14 der kleinen Bauform (410 mm x 410 mm) bei Anordnung am Hauptsignal zu verwenden. Laut Ril 819.1344 Abs. 4.3.2.2 (53) ist es zulässig, die Ne 14 separat auf Höhe der Signale (bis zu 3 m vor dem Signal) zu montieren. Für die Montage der Ne 14 in kleiner Bauform im Tunnel gibt es in der Rz bisher jedoch kein Anordnungsbeispiel.

Die für die zusätzliche Blockteilung erforderlichen Blockkennzeichen sollen auf der Schwelle montiert werden (vergleichbar Stammstrecke S-Bahn München). Diese Anordnungsvariante stellt eine Sonderkonstruktion dar, die bisher nicht durch die gültigen Regelzeichnungen (Rz 540.3.1) abgedeckt ist.

Der Oberbau besteht überwiegend aus Holzschwellen. Vereinzelt sind Betonschwellen vorhanden. Eine Feste Fahrbahn ist im Bestandstunnel nicht vorhanden. Für den Bereich des neuen Tunnels (Abschnitt Hbf – Mittnachtstraße) wird abschnittsweise eine feste Fahrbahn erwogen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass bezüglich der Montage der Balisen im Bestandstunnel nur wenige Einschränkungen zu erwarten sind (z. B.

schadhafte Schwellen sind vor Beginn der Balisenmontage auszutauschen). Für den Bereich der festen Fahrbahn muss davon ausgegangen werden, dass die Balisen nicht immer an den geplanten Standorten montiert werden können, da die Fertigteilelemente der Festen Fahrbahn insbesondere in den Randbereichen und in den Vergussöffnungen keine Bohrungen zulassen.

Für die Ausrüstung mit ETCS L2 im erweiterten Betrachtungsraum wird davon ausgegangen, dass die zugehörigen Stellwerke inkl. deren Außenanlagen vollständig ersetzt werden. Dabei ist insbesondere bei der Planung der Hauptsignalmaste die mögliche Nachrüstung der Ne 14-Tafeln zu berücksichtigen.

2.5.3.2 Handlungsempfehlung

2.5.3.2.1 Einstiegsbereiche

Der erforderliche Mindestabstand von 450 m zwischen Einstiegs- und Folgesignal wird, wie in Abbildung 52 exemplarisch dargestellt, bei drei von sechs Einstiegssignalen unterschritten, wenn nur die Grundstufe (mit Einstiegen vor der Stammstrecke) umgesetzt wird. Im Rahmen der Analyse wurde festgestellt, dass die Abstandsangaben für den Anwendungsfall S-Bahn angepasst werden können. Weitere Informationen sind im Kapitel 2.1.3.4 zu finden. Dadurch können die Mindestabstände reduziert werden und die Einstiege, wie geplant, beibehalten werden.

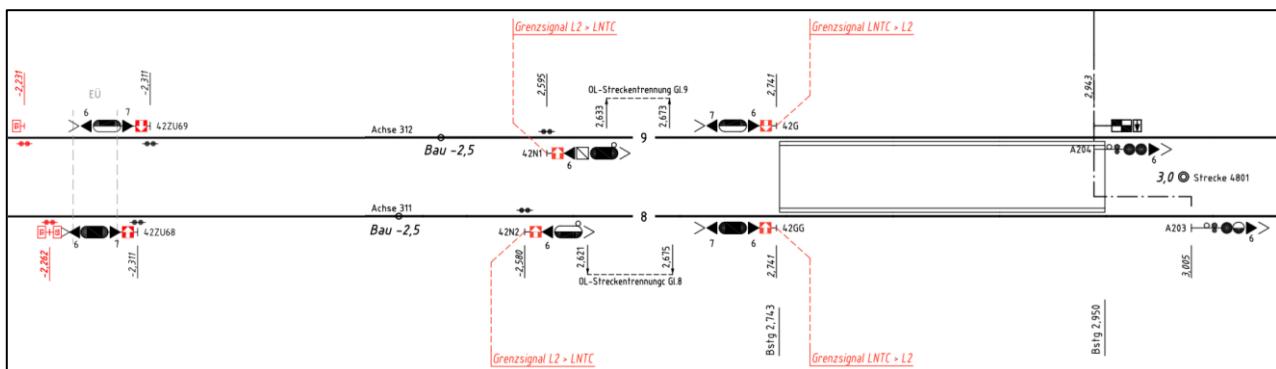


Abbildung 52: Einstiegsbereich Stuttgart Nordbahnhof, Einstiegssignale 42G und 42GG, Quelle: EP ETCS

Die ebenfalls erforderlichen Mindestabstände bzgl. eines möglichen Bremskurvensprungs sind laut Planungsrichtlinie sogenannte Soll-Vorgaben. Wenn die Mindestabstände nicht eingehalten werden können und keine Alternativen vorhanden sind, sollen die Einstiege wie geplant vorgesehen werden und entsprechende Hinweise für das Betriebspersonal aufgenommen werden. Demzufolge liegt keine Abweichung von Planungsregelwerk vor und die Einstiege können beibehalten werden. Es wird jedoch empfohlen im weiteren Planungsverlauf eine Vergrößerung der Signalfolgeabstände zu prüfen. Im Rahmen der Analysen wurde festgestellt, dass insbesondere bei den Einstiegen im Bereich Bad Cannstatt häufiger mit den sogenannten Bremskurvensprüngen, der beispielhaft in Abbildung 53 dargestellt ist, gerechnet werden muss. Hierbei spielt neben den Abständen von Einstiegs- zu Folgesignal auch die gefahrene Geschwindigkeit am Einstiegssignal eine Rolle. Im Nordbahnhof sind die Einstiegssignale unmittelbar am Bahnsteigende angeordnet, sodass ein anfahrender Zug nach Halt am Bahnsteig (alle Züge halten) bei dem Signalbild „Halt erwarten (Ks2)“ am Einstiegssignal nicht mit voller Geschwindigkeit auf das dann halt-zeigende Folgesignal zufahren kann. In Bad Cannstatt passieren die Züge die Einstiegssignale bereits mit voller Geschwindigkeit, weil der Abstand zum Bahnsteig größer ist und damit entsprechend beschleunigt werden kann. Aus diesem Grund werden die Bremskurvensprünge in Bad Cannstatt häufiger auftreten, obwohl augenscheinlich im Bereich Nordbahnhof die schlechteren Neigungsverhältnisse vorliegen und die Signalfolgeabstände kürzer sind, was aber durch die deutlich niedrigere Geschwindigkeit kompensiert wird.

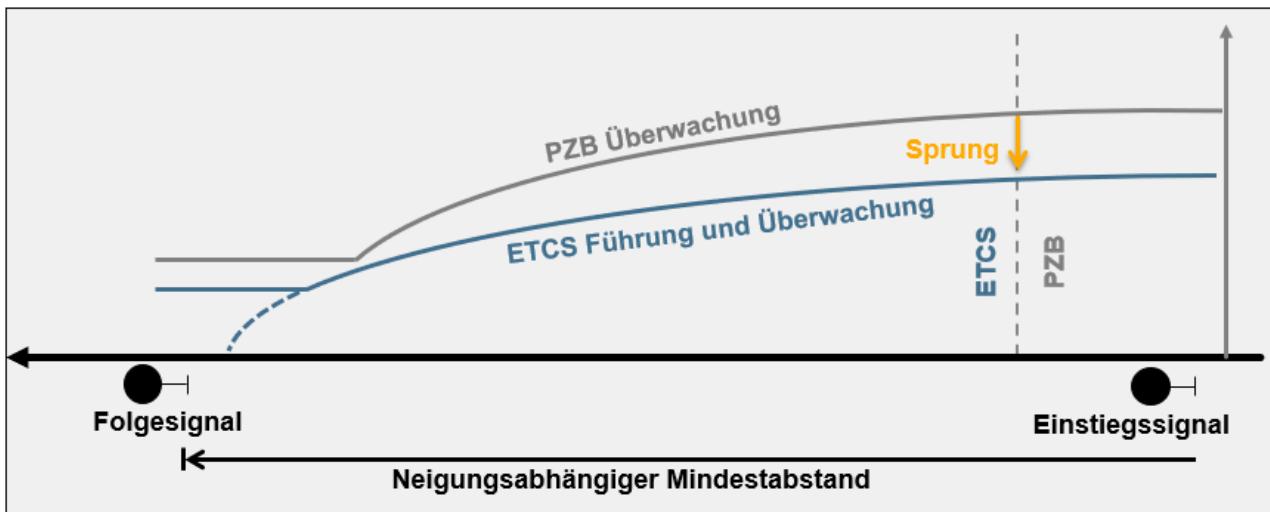


Abbildung 53: Veranschaulichung des Bremskurvensprungs, mit dem z. B. im Bereich Bad Cannstatt gerechnet werden muss

Durch die Erweiterung des Ausrüstungsbereichs verschieben sich die Einstiegsbereiche entsprechend. Die Muss-Anforderungen, wonach zwischen dem Einstiegssignal und dem Folgesignal 450 m erforderlich sind, werden in allen Erweiterungsbereichen erfüllt. Auf Grund der Vergrößerung der Signalfolgeabstände ist auch davon auszugehen, dass keine Bremskurvensprünge mehr zu erwarten sind, auch wenn der neigungsabhängige Mindestabstand nicht bei allen Einstiegen gewährleistet werden kann. In den Abstandsvorgaben sind schlecht-bremsende Güterzüge berücksichtigt, die für die aktuelle Betrachtung nicht relevant sind.

2.5.3.2.2 Wechselwirkungen mit der Fernbahn

Grundsätzlich sollte auch mit dem Hintergrund der geplanten Einstiegsbereiche das vorgesehene ETCS-Ausrüstungskonzept für den Knoten Stuttgart hinterfragt werden. Die festgestellten Abweichungen resultieren im Wesentlichen auf den bei S-Bahn-Stammstrecken zulässigen, besonders kurzen Signalfolgeabständen. Im Zulauf zur Stammstrecke entsprechen die Signalfolgeabstände jedoch den üblichen Regelabständen der Fernbahn, was die Einstiegsbereiche weit weniger problematisch gestaltet. Dementsprechend wird empfohlen den ETCS-Ausrüstungsumfang auf die Zulaufstrecken zu erweitern. Voraussetzung dafür sind ETCS-fähige Stellwerke, was wiederum heißt, dass die bestehende Relaisstellwerke in den Randbereichen hochgerüstet bzw. durch neue ESTW-Technik ersetzt werden sollten. Dabei sollten dann gemeinsame RBC für die S- und Fernbahn errichtet werden.

2.5.3.2.3 Übergang nach L1LS

Weiterhin ist der derzeitig vorgesehene Übergang von Level 2 nach Level 1 LS bzw. umgekehrt im Bahnhof Bad Cannstatt eine Schnittstelle, die zu hinterfragen ist. Mit dem Einsatz von ETCS Level 1 in Bad Cannstatt wird ein drittes Zugbeeinflussungssystem errichtet, welches keinen erkennbaren Mehrwert bringt. Stattdessen wurden Maßnahmen diskutiert, die die PZB als prioritäres Zugbeeinflussungssystem definieren, wodurch eine Aufnahme nach L1LS unterbunden wird. Somit würde eine streckenseitige Ausrüstung mit L1LS vorgesehen werden, die aber in der Praxis durch die S-Bahn nicht genutzt werden soll. Selbst, wenn die Nutzung von L1LS vorgesehen wird, werden tatsächlich unnötige Levelwechsel L2→L1LS→PZB bzw. umgekehrt erzeugt, die immer auch Störungsquellen sein können und unnötige Quittierungshandlungen und Ablenkung für den Tf bedeuten.

Die Empfehlung der InGe lautet deshalb gänzlich auf eine ETCS L1LS-Ausrüstung zu verzichten und stattdessen von vornherein eine ETCS L2-Ausrüstung vorzusehen. Neben dem Vorteil, dass die überflüssige Schnittstelle zu L1LS entfällt, entspannt sich die Situation der Einstiegsbereiche (siehe Absatz „Wechselwirkung mit der Fernbahn“).

Durch die Erweiterung des Ausrüstungsbereichs mit ETCS L2 entfällt die Betrachtung für einen möglichen Übergang nach L1LS.

2.5.3.2.4 Hochleistungsblock

Durch den in der ETCS-Entwurfsplanung vorgesehenen und gewünschten Einsatz von Blocklängen kleiner 50 m bis hin zu 22 m ergeben sich diverse Abweichungen vom Regelwerk. Aus heutiger Sicht müssen die Planungen zwingend angepasst werden, um einen Einsatz von ETCS zu ermöglichen. Der aktuelle Entwurf vom CR 953 lässt eine Verkürzung der Mindestblocklänge auf 30 m unter bestimmten Voraussetzungen zu. Im Rahmen der Überarbeitung der Entwurfsplanung muss die Anwendung verifiziert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gemäß LH ESTW Teilheft F8 hinter den Blockkennzeichen Durchrutschwege von mindestens 50 m einzurichten sind. Es wird davon ausgegangen, dass keine technischen Einschränkungen im Stellwerk vorhanden sind, sodass hier eine formale Abweichung zum LH legitimiert werden muss (z. B. UiG mit Zustimmung EBL).

Durch die InGe wurde die Blocklänge auf ≥ 50 m für beide ETCS-Ausrüstungsszenarien festgelegt. Der Nachweis für eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit gegenüber der Ks ohne ETCS wird dennoch erbracht (siehe Kapitel 3.1.3.1.3).

Bei Blocklängen ≥ 50 m sind noch die folgenden Abweichungen vom Regelwerk für das Stellwerk zu betrachten:

- LBK dürfen nicht angeordnet werden im Bereich von 300 m vor einem Vorsignal
- im Bereich von Bahnhofsgleisen ist keine weitere Unterteilung eines langen (nicht durch Weichen unterteilten) Gleisfreimeldeabschnitts in mehrere Teilzugstraßen zulässig (LH Pkt. 7.10 a) d))
- LBK dürfen nicht im Bereich zwischen Start und Ziel von Rangierstraßen angeordnet werden (LH Pkt. 7.10 f)
- Alleinstehende Geschwindigkeitsanzeiger Zs 3 dürfen nicht in Zugstraßen mit Teilung durch LBK angeordnet werden

Für den letztgenannten Punkt (alleinstehende Zs 3) wird empfohlen, bei einem Einsatz von ETCS als führendem Zugbeeinflussungssystem auf das eine Signal zu verzichten, da dieses nur bei einer reinen PZB-Ausrüstung die Leistungsfähigkeit steigern sollte. Bei einer ETCS-Ausrüstung erfolgt die Geschwindigkeitssignalisierung durch die ETCS-Zentrale und das dort hinterlegte Geschwindigkeitsprofil, welches die Aufgabe des alleinstehenden Zs 3 übernimmt. In der Rückfallebene PZB ist die Steigerung der Leistungsfähigkeit nicht von Priorität.

Für den erweiterten Ausrüstungsbereich ist im Rahmen der Erstellung der BAST zu prüfen, ob eine Zs 3-Signalisierung für eine mögliche Rückfallebene unter PZB erforderlich ist

Bzgl. des Verbots der Anordnung von TBK im Bereich zwischen Start und Ziel einer Rangierstraße ist durch den Betreiber, die DB Netz AG, zu entscheiden, ob die Rangierstraßen in den Stationen Schwabstraße und

Hbf zwingend erforderlich sind. Die vorhandene Regelung im Lastenheft ESTW müsste in diesem Fall angepasst und durch die Ausrüster technisch umgesetzt werden (s. Abbildung 54). Ggf. resultieren aus der technischen Anpassung auch zulassungsrelevante Änderungen.

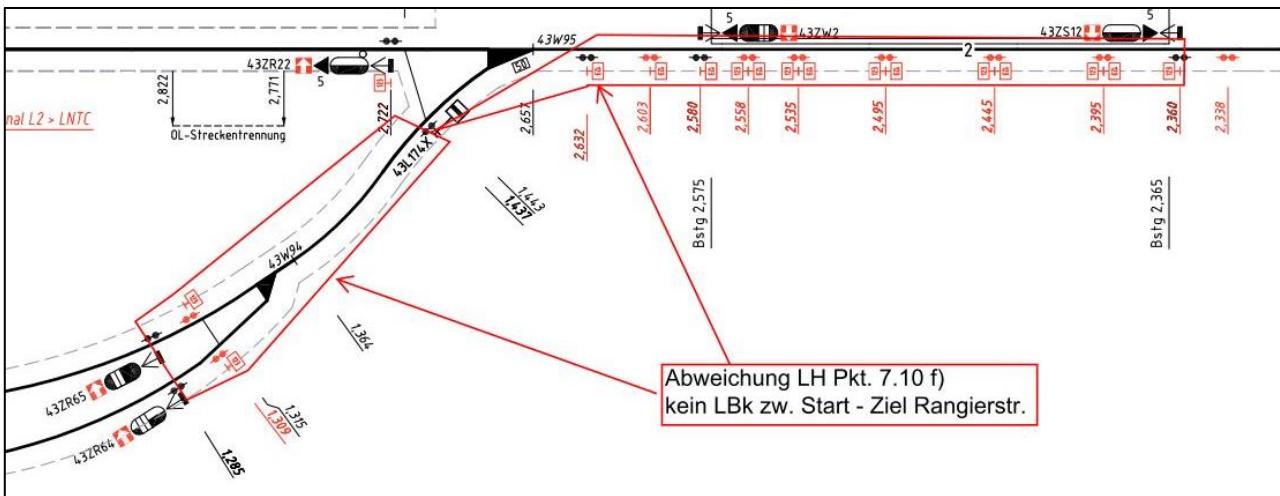


Abbildung 54: kein LBK zwischen Start und Ende der Rangierstraße

Bei einem Verzicht auf die Rangierstraßen wäre die Abweichung von Lastenheft ESTW obsolet. Der Verzicht bedeutet aber nicht automatisch, dass nicht rangiert werden kann oder darf, sondern nur das keine Rangierstraßen, die durch TBK unterteilt sind, im Stellwerk hinterlegt sind. Da beide Stationen innerhalb des Bahnhofs liegen, kann natürlich unter Beachtung des Zugverkehrs jederzeit rangiert werden. Der Fahrweg ist durch den Fahrdienstleiter auf Freisein zu prüfen und einzeln zu sichern (Weichen in richtige Lage bringen und gegen Umstellen sichern). Die Zustimmung zur Rangierfahrt erfolgt dann durch mündliche Zustimmung des Fahrdienstleiters. Dieses Verfahren ist unabhängig von ETCS gängige Praxis auf Betriebsstellen, wo nicht planmäßig rangiert wird.

Aus den vorgenannten Gründen wird deshalb dringend empfohlen auf die geplanten Rangierstraßen mit einer Blockteilung durch TBK zu verzichten. Rangierstraßen ohne Teilung durch TBK z. B. in der Wendeanlage Schwabstraße (Umsetzen von Gleis 164 nach 165) sind unproblematisch.

Im erweiterten Untersuchungsbereich sind ebenfalls Rangierstraßen vorhanden, die unter Umständen für die planmäßige Abwicklung des Regelbetriebs erforderlich sind. Im Rahmen der Erstellung der BAST für den erweiterten Ausrüstungsbereich ist zu klären, welche Rangierstraßen unter Berücksichtigung der möglichen Einschränkungen bei der Planung von Teilblockkennzeichen zwingend erforderlich sind. Mögliche Kompen-sationsmaßnahmen wie z. B. Zugfahrt anstelle Rangierfahrt sind dabei mit einzubeziehen.

Die Vorgabe, dass 300 m vor einem Vorsignal (auch Mehrabschnittssignal) kein TBK angeordnet werden darf, muss für das Projekt angepasst werden. In Abstimmung mit den Regelwerksautoren ist hierzu eine UiG/ZIE zu erstellen. Hintergrund der Vorgabe ist die sogenannte Signalsichtzeit/Signalwahrnehmungszeit von 6,75 s, um den Triebfahrzeugführer nicht zu überfordern. Für die UiG/ZIE kann auf den konkreten Anwendungsfall S-Bahn München verwiesen werden, da dort ebenfalls TBK weniger als 300 m vor einem Vor-/Mehrabschnittssignal angeordnet sind. Weiterhin ist im Rahmen der UiG/ZIE-Erstellung auch zu hinterfragen, ob das TBK tatsächlich als Signal mit entsprechender Sichtzeit zu bewerten ist. Das Blockkennzeichen wird im Signalbuch (Ril 301) als Orientierungszeichen eingeordnet und ist damit kein Signal im Sinne der Eisenbahnsignalordnung. Weiterhin gilt das Blockkennzeichen nur für anzeigen geführte Züge (hier ETCS) und ist in der konventionellen Signalisierung nicht zu beachten. Die Anordnung der Streckenausrüstung wird in Abbildung 55 am Beispiel des ETCS-Basis-Szenarios gezeigt.

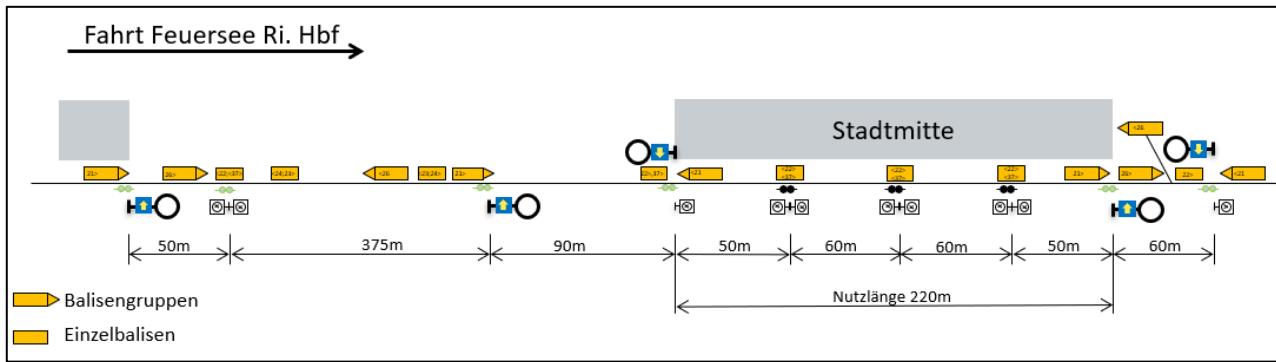


Abbildung 55: Anordnung der Streckenausrüstung am Beispiel des Szenarios "ETCS-Basis"

Die Vorgabe, wonach bei Bahnhofsgleisen keine weitere Unterteilung eines langen (nicht durch Weichen) unterteilten Gleisfreimeldeabschnitts in mehrere Teilzugfahrstraßen vorzusehen ist, muss für das Projekt ebenfalls angepasst werden. In Abstimmung mit den Regelwerksautoren ist auch hierzu eine UiG/ZiE zu erstellen. Hintergrund der Vorgabe ist, dass sichergestellt werden muss, dass ein in Teilblöcken vorrückender Zug nicht frühzeitig zum Halten kommt und dabei zurückliegende Weichen zustellt. Für die UiG/ZiE kann auf den konkreten Anwendungsfall S-Bahn München verwiesen werden, da dort ebenfalls lange Freimeldeabschnitte mit mehreren Teilzugfahrstraßen eingerichtet sind.

Aus ETCS-Sicht müssen für die Anordnung der TSR-Balise (DP Typ 26) die Distanzen angepasst werden. Eine Detailbeschreibung dazu ist in der Hauptaufgabe Technikanalyse im Absatz 2.1.3.3.2 „Absenkung der Geschwindigkeit in SR auf 20 km/h vor Ks-Signalen“ enthalten.

Optimierungspotential besteht insbesondere bei der Anordnung der Datenpunkte an Blockkennzeichen (DP Typ 22). Gemäß heutigem Regelwerk wäre bei der vorgesehenen Anordnung der Blockkennzeichen „Rücken an Rücken“ für jedes Blockkennzeichen eine einzelne Balise zu planen. Technisch ist aber nur eine Balise für beide Blockkennzeichen erforderlich. Dementsprechend wird empfohlen, die Optimierung durch eine UiG/ZiE zu legitimieren bzw. in das neu zu erstellenden S-Bahn-Planungsregelwerk aufzunehmen und in den weiteren Planungsphasen zu berücksichtigen.

Weiterhin können Optimierungen bei dem Einsatz von sogenannten reinen Ortungsdatenpunkten (DP Typ 23, 24), die im Abstand von 50 m und 300 m unter anderem vor Blockkennzeichen angeordnet werden sollen, erzielt werden. Durch die kurze Blockteilung ≥ 50 m im Stationsbereich ergeben sich permanent Ortungspunkte, die nicht durch den Einsatz zusätzlicher Ortungsdatenpunkte, die gemäß Regelwerk gefordert werden, ergänzt werden müssen. Tatsächlich führt diese Menge der Balisen eher dazu, dass die Gefahr besteht, dass das Fahrzeuggerät die Vielzahl der Informationen nicht mehr verarbeiten kann und Störungen entstehen können bzw. die Länge der MA unnötig eingeschränkt wird, da innerhalb einer MA nur eine bestimmte Anzahl an Balisen im Linking enthalten sein darf. Dementsprechend wird auch hier empfohlen, die Optimierung in den weiteren Planungsphasen weiterzuverfolgen und durch eine UiG/ZiE zu legitimieren bzw. in das neu zu erstellenden S-Bahn-Planungsregelwerk aufzunehmen.

Im Zusammenspiel mit einer ATO-Ausrüstung sind die Ortungsdatenpunkte dahingehend zu optimieren, dass diese von ATO mitgenutzt werden können oder alternativ die Balisen für ATO so geplant werden, dass diese für ETCS mitgenutzt werden können. Die erforderlichen Balisen und die Optimierungspotentiale sind in das neu zu erstellende Planungsregelwerk mit aufzunehmen.

2.5.3.2.5 Betriebliche Szenarien

Die bisher vorgesehenen betrieblichen Abläufe sollten beibehalten werden. Die Fahrzeuge, die die Wendeschleife oder das Wendegleis befahren, müssen immer als Zugfahrt in der L2-Führung bleiben. Nur so ist gewährleistet, dass bei einem Nachfahren an den Bahnsteig die erforderliche Dunkelschaltung der deckenden Hauptsignale erfolgt und die Teilblöcke genutzt werden können.

Wenn die Fahrzeuge vollständig abrüsten, müssen die Züge bei der Weiterfahrt erst wieder nach ETCS L2 aufgenommen werden. Technisch erfolgt die Aufnahme nach der Befahrung mehrerer Balisen, weil erst dann die ETCS-Zentrale die Position des Fahrzeugs sicher zuordnen kann. Voraussetzung dafür ist jedoch eine Fahrtstellung des deckenden Hauptsignals, was wiederum nur möglich ist, wenn der vollständige Ganzblockabschnitt frei ist. Das heißt der Teilblock zum Nachfahren kann bei abgerüsteten Fahrzeugen, solange nicht genutzt werden bis diese wieder in Level 2 aufgenommen wurden. Kompenziert werden kann dieser Nachteil durch die fahrzeugseitige Nachrüstung eines sogenannten Cold-Movement-Detektors (siehe auch Abs. 2.1.3.7).

Stärken und Schwächen an den Bahnsteigen sollte unter ETCS nicht vorgesehen werden. Bei der klassischen Variante mit einem Zugdeckungssignal und Kennlicht kann durch die ETCS-Zentrale nicht unterschieden werden, ob die betriebliche Situation Kurzeinfahrt, Langausfahrt oder Stärken von zwei Zügen vorliegt. Deshalb wird durch die ETCS-Zentrale in allen Situationen „auf Sicht“ (OS – on Sight) bis zum Ausfahrsignal kommandiert, was insbesondere bei der Langausfahrt erhebliche Verzögerungen mit sich bringt.

Gemäß dem CR 1050 soll deshalb als Vorzugsvariante ein Zwischensignal vorgesehen werden. Die Errichtung von zusätzlichen Zwischensignalen am Bahnsteig erscheint aus mehreren Gründen nicht realisierbar (Platzmangel, Länge der Signalfolgeabschnitte, Berücksichtigung der Teilblockabschnitte).

Wenn ein Kurz- oder Vollzug erweitert werden soll, kann dies als Rangierfahrt in der Wendeanlage Schwabstraße oder im Wendegleis am Hbf erfolgen.

Für die Erweiterung des Ausrüstungsbereichs sind im Rahmen der Erstellung der BAST die betrieblichen Szenarien mit der geplanten ETCS L2-Ausrüstung in Einklang zu bringen.

2.5.3.2.6 Bauausführung

Auf Grund der beengten Platzverhältnisse im Tunnel wird dringend empfohlen, Querprofile von allen geplanten Signalstandorten zu erstellen. Die Empfehlung gilt unabhängig von dem Einsatz von ETCS. Bei einem Einsatz von ETCS sind die dann zusätzlich erforderlichen Ne 14-Tafeln in den Querprofilen zu berücksichtigen.

Bzgl. der Montage der Ne 14 (kleine Bauform) an der Tunnelwand ist die bisher nur für die große Bauform vorgesehene Anordnung mit Befestigungsbügeln der Kilometer-/ Hektometerzeichen (KMZ/HMZ) sinngemäß anzuwenden (Rz 541.1 Bild 8). Die Halterung für die KMZ/HMZ müssen entsprechend eingekürzt werden und die Abstandsmaße der Bohrlöcher sind anzupassen. Bei einer Entscheidung für eine ETCS-Ausrüstung sind dazu zunächst entsprechende Zeichnungen anzufertigen und ggf. statische Nachweise zu erbringen. Weiterhin sind die besonderen Bedingungen bzgl. der Bohrungen in der Tunnelwand zu beachten. Auf dieser Grundlage kann dann eine Zustimmung zur abweichenden Anordnung von der Regelzeichnung erfolgen.

Für die Montage der Ne 14 im erweiterten Ausrüstungsbereich ist bereits während der Erstellung der Planung vom Stellwerk bei der Konfiguration/Materialisierung der Mastlängen der Signale eine regelkonforme Anordnung der Ne 14 zu berücksichtigen.

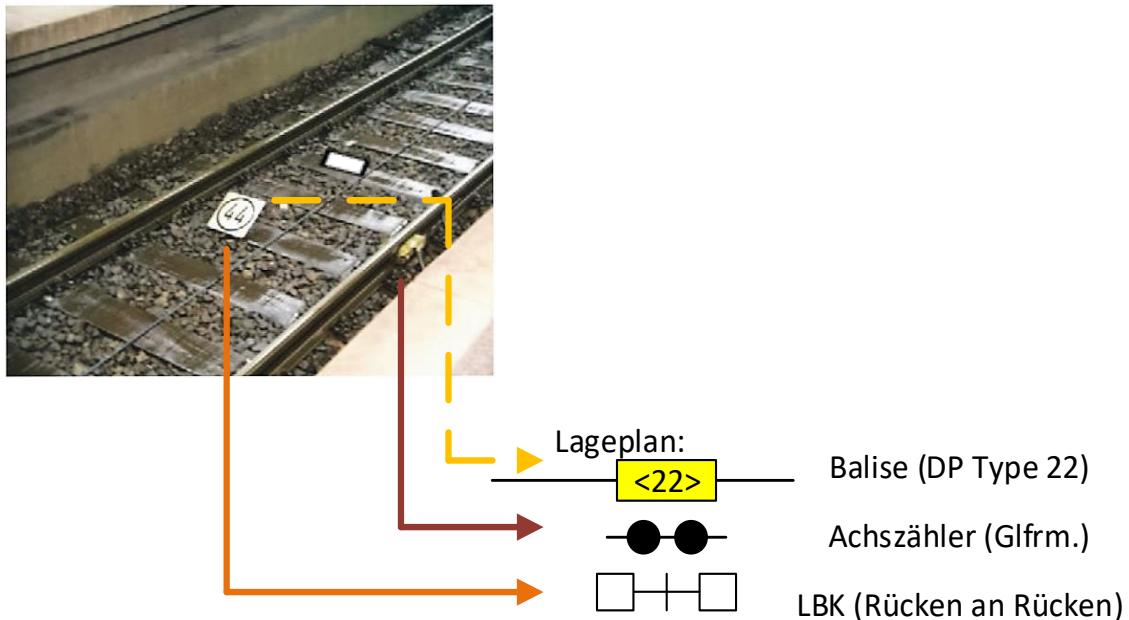


Abbildung 56: Anordnung der Blockkennzeichen am Bahnsteig

Für die Anordnung der Blockkennzeichen auf der Schwelle (in Abbildung 56 dargestellt) muss zunächst der Nachweis erbracht werden, dass die Regelanordnung (hier Montage an der Tunnelwand mit KMZ/HMZ – vergleichbar Ne 14) nicht möglich ist. Da für das Blockkennzeichen gemäß Rz S 540.03.5 eine einheitliche Tafelgröße von 720 mm x 720 mm vorgegeben ist, wird auf Grund des begrenzten Regelraums, eine Regelanordnung an der Tunnelwand nur eingeschränkt möglich sein. Gleichzeitig ist dabei auch immer die Signalsicht auf die Hauptsignale zu berücksichtigen. Ggf. sind die genannten Punkte bereits ausreichend, um den Nachweis zu erbringen, dass eine regelkonforme Anordnung nicht möglich ist. In der Folge ist dann eine UiG für die geplante Anordnung auf der Schwelle zu erstellen. Dazu sind auch entsprechende Zeichnung für die Befestigung zu erstellen und statische Nachweise zu erbringen.

Die Montage der Balisen kann mit den derzeit freigegebenen Befestigungssystemen erfolgen. Es wird empfohlen vor Montagebeginn sämtliche oberbautechnischen Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen, um eventuelle Schadschwellen bereits vorab auszutauschen.

Für den Bereich der Festen Fahrbahn sind in Abstimmungen mit dem Hersteller der Fertigteilelemente die zulässigen Bohrbereiche festzulegen. Bei der Montage sind diese zwingend zu beachten und als Alternative sogenannte Vortok-Träger bereitzuhalten.

Die Montage der Balisen muss möglichst genau den aus der Planung vorgegeben Einbauorten entsprechend erfolgen. Abweichungen hiervon sind durch den Ersteller der Planung zu legitimieren. Die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen dem Montageort der Ne 14 bzw. TBK und zugehörigem Achszählpunkt in Verbindung mit den Balisengruppen sind stets zu beachten.

2.5.3.2.7 Überblick Handlungsempfehlungen

- Allgemein / übergreifend:
 - o Separates Planungsregelwerk für die Anwendung von ETCS L2 bei S-Bahnen erstellen
 - o Gesamtkonzept für eine ETCS L2-Ausrüstung im Knoten Stuttgart für alle Verkehre unter Einbeziehung der regionalen Projekte
 - o Erstellung ETCS-BAST für alle Ausrüstungsstufen inkl. ATO, sodass eine eindeutige Bestellung seitens des Betreibers gegeben ist
- Einstiege:
 - o Reduzierung der Mindestabstände (derzeit 450 m) zwischen Einstiegs- und Folgesignal durch Anpassung der Abstandsvorgaben – Einstiegsbereiche der Stammstrecke könnten beibehalten werden
 - o Erweiterungsbereich ist auf Grund größerer Signalfolgeabstände besser für einen Einstieg geeignet
 - o Im Erweiterungsbereich gemeinsames RBC für S-Bahn und Fernbahn
- Hochleistungsblock
 - o Planung von Blockabschnitten größer 50 m
 - o Verzicht auf Rangierstraßen, die durch BK unterteilt sind
 - o UiG für LBK im Bereich vor Vor-/Mehrabschnittssignalen und UiG für Unterteilung von Freimeldeabschnitten in mehrere Teilabschnitte (beides Abweichungen vom LH ESTW)
 - o Optimierung der Verlegung des DP Typ 22 am Blockkennzeichen für Regel- und Geigenrichtung
 - o Anpassung der Abstandsvorgaben für Verlegung des TSR-Datenpunkts (DP Typ 26)
- Betriebliche Szenarien
 - o Es sollten in Wendeanlage Schwabstr./Wendegleis Hbf keine Fahrzeuge abgerüstet werden.
 - o Stärken/Schwächen sollte nicht im Stationsbereich vorsehen werden.
 - o In Teilblockbereichen sollten Rangierstraßen abbestellt werden, wenn kein planmäßiges Rangieren vorgesehen ist.
 - o Für den Erweiterungsbereich sind die betrieblichen Szenarien in Einklang mit der ETCS-Ausrüstung zu bringen

- Bauausführung
 - o Querprofile von allen Signalstandorten erstellen
 - o Ausrüstung mit Ne 14-Tafeln in kleiner Bauform, dazu Anpassung der KMZ/HMZ-Halterungen und Anpassung der Rz
 - o Für die Montage der Blockkennzeichen auf Schwelle ist eine UiG mit entsprechenden statischen Nachweisen zu erbringen.
 - o Mit der Bekanntgabe des Herstellers der Festen Fahrbahn sind die zulässigen Bohrbereiche für Balisen festzulegen. Bei der Montage der Balisen sind diese zwingend zu berücksichtigen und sogenannte Vortok-Träger als Alternative bereitzuhalten.
 - o Für den Erweiterungsbereich sind bei der Stellwerksplanung die Montageorte der Ne 14-Tafeln zu berücksichtigen.

2.6 Laufzeiten und Verfügbarkeit

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA4 des Arbeitspaketes AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

2.6.1 Überblick

2.6.1.1 Ziele der Hauptaufgabe Laufzeiten

Die nachfolgenden Ziele der Hauptaufgabe wurden im Kick-Off-Meeting vereinbart:

- Ermittlung der Laufzeiten für die Systemkonfiguration S-Bahn Stuttgart.
- Ermittlung von Maßnahmen zur Reduzierung der Laufzeiten, auch über die erforderlichen Laufzeiten für S-Bahn Stuttgart hinaus.
- Die ermittelten Laufzeiten müssen stabil sein, d.h. die ermittelten Werte müssen belastbar sein.
- Es ist eine Verteilung für die Laufzeitwerte zu ermitteln.
- Es sind die quantitativen Verfügbarkeitsanforderungen und Potentiale im erforderlichen Ausmaß inklusive der QoS-Parameter zusammenzustellen.
- Es sind Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit nach der IBN zu ermitteln und Empfehlungen auszusprechen.

2.6.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die ermittelten Laufzeiten sind, wie die Simulation gezeigt hat, geeignet, um die Erhöhung der Betriebsqualität zu realisieren. Jede weitere Verkürzung der Laufzeiten hat einen direkten, positiven Effekt auf die Betriebsqualität.

Anhand der Herstellerbefragung und der Anforderungsdokumente wurden belastbare Laufzeiten ermittelt und mit anderen nationalen und internationalen Projekten verglichen (siehe Abbildung 57).

Die anhand der Anforderungsdokumente ermittelten Laufzeiten umfassen auch das DSTW.

Der Vergleich der Laufzeiten mit anderen Realisierungen hat ergeben, dass die ermittelten Laufzeiten bis auf die des ESTWs und der Übertragung ESTW-RBC, gleich oder besser sind als in den Vergleichsprojekten.

Die Laufzeit im ETCS-Fahrzeuggerät wurde mangels Messwertes anhand des in der TSI vorgegeben Wertes festgelegt.

Die Laufzeitwerte sind für das Basis-Szenario konservativ gewählt worden, um belastbare Aussagen zu erhalten.

Für alle weiteren Szenarien, d.h. auch für das Szenario ETCS+, wurden die Werte auf Stellwerksseite reduziert, da hier noch Optimierungspotential gesehen wird. Dies röhrt daher, dass die Laufzeiten des ESTWs in den Vergleichsrealisierungen besser sind, als die durch die Herstellerbefragung ermittelten Werte. Hinzu kommt, dass die ESTW-Laufzeiten der einzelnen Hersteller teilweise sehr unterschiedlich sind

In Abbildung 57 sind die ermittelten Laufzeiten und die Vergleichslaufzeiten dargestellt.

	A	B	C	D	E	F
1	Zeit	für Simulation Basis-Szenario	für Simulation ETCS+ und aller weiteren Szenarien	London Thameslink	Mattstetten-Rothrist	S-Bahn München
2						
3	Bemerkungen					
4	ESTW-Verarbeitung					
5	Zeit vom Stellbefehl des Signals im ESTW bis zum Stellen des Signals				1	
6	Zeit Signalfahrtstellung (beginnend mit der physischen Räumung über die Fahrstraßenbildung bis hin zur Dunkelschaltung)					4
7	Fahrstraßenauflösezeit	3,4	3	nicht angegeben		
8	Fahrstraßenbildezeit durchschnittlich	8	6		4,1	
9	Fahrstraßenbildezeit maximal	13	12		4,6	
10						
11	Zuglenkung					
12	Übertragung Signalbegriff ESTW - RBC					
13	RBC-Verarbeitung					
14	Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen	8				
15	minimal			0,8		
16	durchschnittlich	0,5	0,5		1,6	
17	maximal			2,5	2,3	
18						
19						
20						
21	GSM-R-Übertragung					
22	minimal	0,8	0,8	0,5	1,1	
23	durchschnittlich				2,5	
24	maximal					
25						
26	GSM-R bzw. SCI-RBC-Laufzeitverzögerung (Aufschlag)			-		
27	OBU-Verarbeitung und Anzeige					
28	minimal			1	1,2	
29	durchschnittlich				1,8	
30	maximal	1,5	1,5	1,5		
31						
32						
33	Minimale Gesamtaufzeit			kann nicht angegeben werden, da ESTW-Zeiten nicht verfügbar sind		
34	Durchschnittliche Gesamtaufzeit				8	
35	Maximale Gesamtaufzeit				11,2	
36						

Abbildung 57: Ermittelte Laufzeiten im Vergleich mit anderen Realisierungen

Folgende Maßnahmen für die Reduzierung von Laufzeiten wurden ermittelt:

- Die Stammstrecke ist entweder als ein Stellrechnerbereich zu realisieren oder aber zumindest sind die Stellrechnerbereiche so aufzuteilen, dass die zusätzlichen Verzögerungszeiten an Stellrechnergrenzen für ESTW-Meldungen von bis zu 8 s nicht zu berücksichtigen sind.
- Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Stammstrecke als ein RBC-Bereich realisiert wird, damit keine NRBC-Übergänge zu berücksichtigen sind.

Es wurde geprüft, welche quantitativen Verfügbarkeitsanforderungen existieren.

Im BTSF und in den GSM-R Dokumenten sind Verfügbarkeitsanforderungen definiert.

Es sind Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit mit bzw. nach der IBN ermittelt worden. Die Realisierung bei der DB-Netz wurde geprüft und es wurden Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

In Tabelle 48 sind alle Handlungsempfehlungen aus Sicht der Hauptaufgabe Laufzeiten und Verfügbarkeit für das Szenario ETCS+ dargestellt

Tabelle 48: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Laufzeiten und der Verfügbarkeiten

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
LA-1	SCI-RBC CRs Es wird empfohlen die CRs „Beanspruchung Signal SAG“ und „Verschlussmeldung Weiche SAG“ zur SCI-RBC umzusetzen, um die zusätzlichen Verzögerungszeiten an Stellrechnergrenzen für ESTW-Meldungen von bis zu 8 s eliminieren zu können.	Die CRs müssen bis zur Veröffentlichung der Ausschreibung in die Lastenhefte (SCI-RBC, BTSF, F-Lastenhefte) überführt werden.	DB AG
LA-2	Laufzeiten Es wird empfohlen für die Ausschreibung Qualitätskriterien bzgl. Laufzeiten in Absprache mit I.NPS zu definieren bzw. vorhandene Anforderungen zu präzisieren	Diese Laufzeiten müssen bis zur Ausschreibung definiert sein, damit sie in die Ausschreibung eingehen können. Grundlage für die Definition sollte die Spalte „C“ (für Simulation ETCS+ und alle weiteren Szenarien) aus Abbildung 65 sein.	DB AG
LA-3	<u>Verfügbarkeit</u> Die InGe empfiehlt die Verwendung eines selbstkorrigierenden Achszählsystems, das in der Lage ist, Auswirkungen fehlerhaft zählender Radsensoren auf den Betrieb zu minimieren	Die Integration des Systems muss in die Stellwerks- bzw. Infrastrukturplanung einzbezogen werden.	DB Netz AG

2.6.1.3 Methodik der Laufzeitermittlung

Laufzeiten sind von wesentlicher Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems, da diese maßgeblich die Kapazität der Strecke mitbestimmen.

Daher bestand die Aufgabe belastbare Werte für die Laufzeiten der einzelnen beteiligten Komponenten zu ermitteln. Diese sind eine Basis für die Simulation und werden ggf. in Anforderungen überführt.

Die relevante Laufzeit ist die Ende-zu-Ende-Laufzeit vom Freifahren des vorausfahrenden Zuges bis zum Erscheinen der Fahrerlaubnis auf dem Display des Triebfahrzeugführers (siehe Abbildung 58)

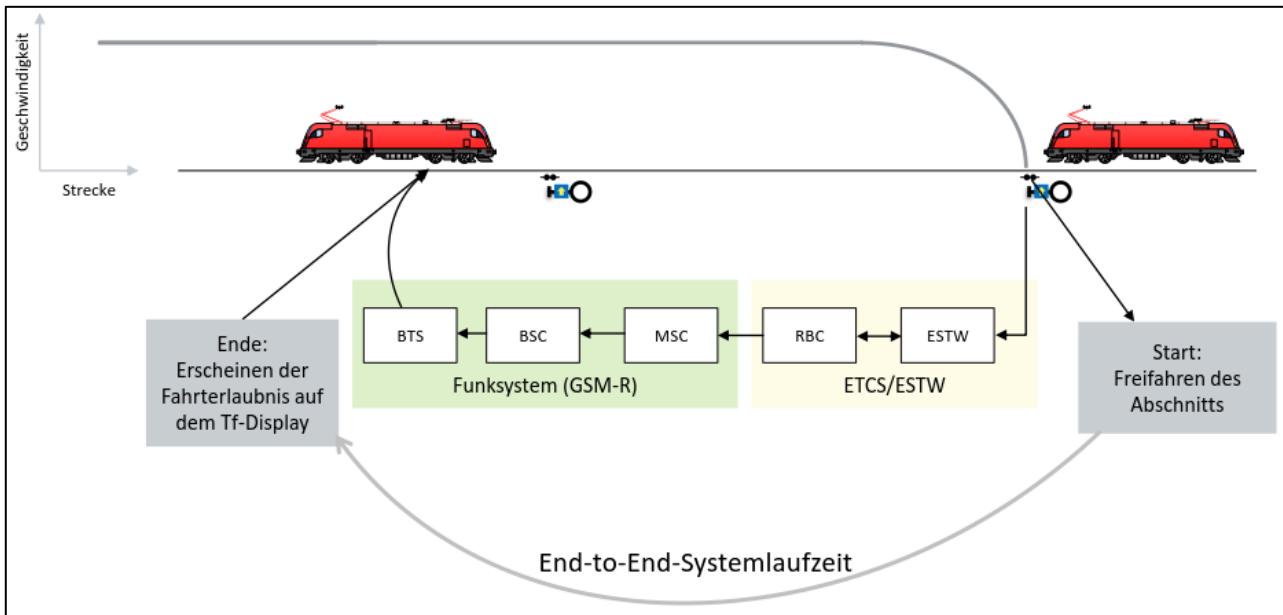


Abbildung 58: Übertragungskomponenten und -wege, die Einfluss auf die End-to-End-Laufzeit haben

Um Laufzeiten für die Konfiguration der S-Bahn Stuttgart zu ermitteln, wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt:

1. Zusammenstellen von Laufzeitanforderungen
2. Laufzeitmessungen
3. Befragung der Hersteller
4. Vergleich mit anderen Realisierungen (national und international)

Bei der Ermittlung der Laufzeiten war es wichtig, vergleichbare Architekturen und Produkte zu betrachten. Da es derzeitig noch keine Realisierung von Anlagen mit äquivalenten Anforderungen wie denen für die Stammstrecke Stuttgart in Deutschland gibt, waren die Laufzeitermittlungen anhand realisierter Projekte mit ähnlichen Anforderungen und Architekturen vorzunehmen.

Die Laufzeiten aus den verschiedenen Quellen wurden konsolidiert und somit Laufzeiten für die verschiedenen Szenarien ermittelt.

Auf dieser Basis wurden auch Maßnahmen benannt, um die Laufzeiten zu minimieren.

2.6.2 Architektur

Nachfolgend ist die zu betrachtende Architektur dargestellt.

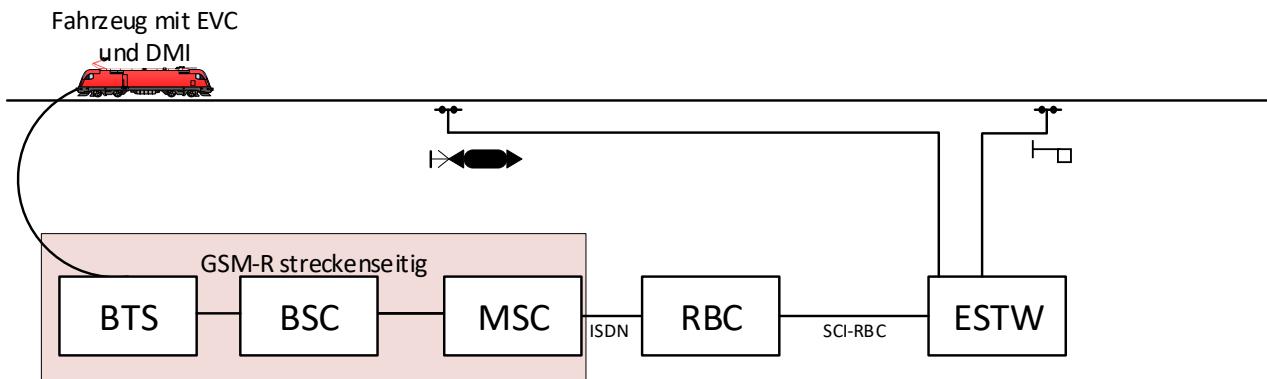


Abbildung 59: betrachtete Architektur

Grundlage für diese Architektur sind die Modulverträge, sowie die TSI CCS. Die Architektur definiert die zu betrachtenden Komponenten und Schnittstellen und damit auch die zu verwendenden Messpunkte.

2.6.3 Detailbeschreibung Relevante Laufzeiten

2.6.3.1 Allgemeines

Die relevante Laufzeit ist die Ende-zu-Ende Laufzeit vom Freifahren des vorausliegenden Abschnitts bis zur Erteilung der Fahrerlaubnis für den nachfolgenden Zug (am DMI).

Dieses Kapitel beantwortet die Frage, welche Laufzeiten zu ermittelt sind.

Generell gibt es drei mögliche Abläufe für das Einstellen der Folgefahrstraße:

1. **Einstellen durch Fahrdienstleiter** - diese Variante soll hier nicht betrachtet werden, da die Verzögerungszeit, die durch den Fahrdienstleiter entsteht, schwer beziffert werden kann.
2. **Einstellung der Folgefahrstraße durch die Zuglenkung** – Die Zuglenkung schickt nach einer positiven internen Stellbarkeitsprüfung rechtzeitig einen Stellanstoß für eine Fahrstraße an das Stellwerk. Die Dauer der Stellbarkeitsprüfung kann sich in bestimmten betrieblichen Situationen auf die Zeit bis zur Signalfahrtstellung auswirken. Diese Zeit wird nachfolgend mitbetrachtet.
3. **Anstoß der Einstellung der Folgefahrstraße durch einen Selbststell- oder Dunkelschaltanstoß** – der Selbststell- oder auch der Dunkelschaltanstoß wird bei richtiger Projektierung rechtzeitig vom RBC an das ESTW gesendet. Das ESTW überträgt diesen dann bei ZL Signalen wieder an die ZL. Der Ablauf ist dann der gleiche, wie der, der unter 2. genannt wurde. D.h. für den Selbststell- oder Dunkelschaltanstoß ist keine weitere Verzögerungszeit zu berücksichtigen.

Um Anforderungen an die Systemkomponenten formulieren zu können, sind auch die jeweiligen Laufzeitanteile der beteiligten Systeme zu ermitteln.

2.6.3.2 Fahrstraßenauflösezeit

Die Fahrstraßenauflösezeit ist die Zeit, die benötigt wird, vom Freifahren des Abschnitts, bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle Bedingungen im Stellwerk für das Einstellen der Fahrstraße für den folgenden Zug erfüllt sind.

Auslösendes Ereignis: Letzte Achse passiert Achszählpunkt

Dieses Ereignis kann man z. B. an der Strecke beobachten.

Beendendes Ereignis: Elemente sind in Grundstellung

Dieses Ereignis ist ein internes Ereignis im ESTW und kann von außen nicht direkt beobachtet werden.

Diese Zeit für sich zu ermitteln ist daher nicht zielführen. Sie geht daher als ein Bestandteil in die „Zeit zur Einstellung der Folgefahrstraße“ ein

2.6.3.3 Stellbarkeitsprüfung der ZL

Die Stellbarkeitsprüfung innerhalb der Zuglenkung soll unnötige Stellversuche (ohne Aussicht auf Erfolg) vom Stellwerk vermeiden.

Erst wenn alle Bedingungen für das Einstellen einer Fahrstraße vorliegen (Gleisbelegung, Sperren, D-Weg, ...), fällt die Stellbarkeitsprüfung positiv aus und die Zuglenkung übergibt den Stellbefehl an das Stellwerk.

Auslösendes Ereignis: Erreichen des Anstoßpunktes durch den Zug

Dieses Ereignis ist ein internes Ereignis in der ZL und kann von außen nicht direkt beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: Stellbarkeitsprüfung ist positiv oder negativ

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

2.6.3.4 Fahrstraßenbildezeit

Die Fahrstraßenbildezeit ist die Zeit, die benötigt wird, vom Stellanstoß bis zur Meldung des Signalbegriffs an das RBC (Ausgang ESTW).

Auslösendes Ereignis: Bedingungen zum Einstellen der Fahrstraße erfüllt und Stellbefehl der ZL liegt vor

Dieses Ereignis ist ein internes Ereignis im ESTW und kann von außen nicht direkt beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: ESTW meldet Fahrtbegriff an das RBC

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

Diese Zeit für sich zu messen ist daher nicht zielführend. Sie geht daher als ein Bestandteil in die „Zeit zur Einstellung der Folgefahrstraße“ ein.

2.6.3.5 Zeit zur Einstellung der Folgefahrstraße

Da die Fahrstraßenauflösezeit und die Fahrstraßenbildezeit einzeln schwer oder gar nicht zu ermitteln sind, wird angestrebt die Zeit zur Einstellung der Folgefahrstraße zu ermitteln. Diese Zeit ist die Zeit, die benötigt wird, vom Freifahren des Abschnitts eines vorausfahrenden Zuges, bis zur Meldung des Fahrtbegriffs an das RBC (Ausgang ESTW) für den Folgezug.

Auslösendes Ereignis: Letzte Achse des vorausfahrenden Zuges passiert Achszählpunkt

Dieses Ereignis kann man an der Strecke beobachten.

Beendendes Ereignis: ESTW meldet Fahrtbegriff für den Folgezug an das RBC

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

2.6.3.6 Übertragung ESTW – RBC

Die Übertragungszeit ist die Zeit, die eine Meldung vom Absenden am ESTW bis zum Empfang beim RBC benötigt.

Auslösendes Ereignis: Absenden der Meldung vom ESTW

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: Empfang der Meldung im RBC

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden

2.6.3.7 Verarbeitungszeit im RBC

Die Verarbeitungszeit im RBC ist die Zeit vom Empfang des Fahrtbegriffes bis zum Absenden der Fahrerlaubnis an den EVC (über GSM-R).

Auslösendes Ereignis: Empfang der Fahrtmeldung vom ESTW

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: Senden der Fahrerlaubnis

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden

2.6.3.8 Übertragungszeit RBC – EVC (inkl. MSC-BTS-BSC – Mobile)

Hier sind verschiedene Systemkomponenten und Schnittstellen beteiligt. Für jedes dieser Systemkomponenten könnten Verarbeitungszeiten und Laufzeiten auf den Schnittstellen ermittelt werden. Dies ist zunächst nicht im Fokus, es wird nur eine Gesamtübertragungszeit ermittelt.

Die Übertragungszeit RBC – EVC ist die Zeit, die eine Meldung vom Absenden am RBC bis zum Empfang beim EVC benötigt.

Auslösendes Ereignis: Absenden der Meldung vom RBC

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: Empfang der Meldung am EVC

Dieses Ereignis kann mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

2.6.3.9 Verarbeitung im EVC inklusive Anzeige am DMI

Die Verarbeitungszeit im EVC ist die Zeit vom Empfang einer Fahrerlaubnis bis zum Absenden der Anzeigeformationen an das DMI.

Auslösendes Ereignis: Empfang einer MA

Dieses Ereignis kann ggf. mittels entsprechender Aufzeichnungen an der Schnittstelle beobachtet werden.

Beendendes Ereignis: Anzeige der MA am DMI

Dieses Ereignis kann am DMI beobachtet werden.

2.6.3.10 Lastenheftvorgaben

Es bestand die Aufgabe herauszufinden, ob es Vorgaben in Lastenheften bzgl. der Laufzeiten gibt.

Dazu wurden die entsprechenden Lastenhefte untersucht:

- ESTW- F-Lastenhefte
- BTSF, SCI-RBC und E&E Dokumente
- TSI.

Darüber hinaus wurde für das DSTW zwei Dokumente zur Ermittlung bzw. Bewertung von Systemreaktionszeiten aus NeuPro ausgewertet.

Des Weiteren haben Befragungen der entsprechenden Verantwortlichen stattgefunden.

Anforderungen an das ESTW

In den F-Lastenheften finden sich keine Vorgaben bezüglich Laufzeiten.

Dies hat die Befragung von I.NPS 331 bestätigt.

BTSF, SCI-RBC und E&E Dokumente

Im BTSF finden sich Vorgaben bezüglich Laufzeiten, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind:

Tabelle 49: Laufzeitvorgaben entsprechend BTSF

BTSF ID	Anforderung	Wert
BTSF3.000.2629	Reihenfolgerichtigkeit über Stellwerksgrenzen	Max. 10 s, ist aber mit dem Auftraggeber abzustimmen
BTSF3.000.3809	internen Signalhaltstellung im Stellwerk bis Empfang der Meldung am Eingang ETCS-Fahrzeuggerät	2,5 s
	internen Signalhaltstellung im Stellwerk bis Empfang der Meldung am Eingang der ETCS-Zentrale	0,5 s
	Verarbeitungszeit in der ETCS-Zentrale	0,5 s
	GSM-R- oder SCI-Laufzeitverzögerungen (Sicherheitsaufschlag)	1 s
BTSF3.000.1233 / 3079	ETCS-FzG sendet beim Befahren der Ortungsbalisengruppe einen Positionsreport an die ETCS-Zentrale	1,5 s
	Die ETCS-Zentrale erstellt eine Fahrterlaubnis und sendet diese an das ETCS-FzG	0,5 s + 1,5 s
	ETCS-FzG empfängt eine Fahrterlaubnis und zeigt Levelwechsel auf dem DMI an (TSI)	1,5 s
BTSF3.000.2629	Reihenfolgerichtigkeit über Stellwerksgrenzen	Max. 10 s, ist aber mit dem Auftraggeber abzustimmen

Darüber hinaus ist im E&E-Dokument zum Signalhaltfall die Anforderung von 2,5s Verzögerungszeit für die Ermittlung des Signalhaltfalls bis zur Reaktion auf dem ETCS-Fahrzeug behandelt.

Das Integrationsgutachten „Gutachten für den Einsatz unter Sicherheitsverantwortung, Integration TG 200 RBC R3.3.2 / R3.3.3 mit ESTW L90 SI59-1.0 und LANCOP_E2 R2.3“ vom 24.11.2017 behandelt diesen Wert ebenfalls und stellt fest, dass der Wert nicht eingehalten wird.

Dazu wurden entsprechende Messungen beim Hersteller durchgeführt, bei denen folgende durchschnittliche Werte ermittelt wurden:

- Verarbeitungszeit im ESTW: 1 s
- Verarbeitungszeit im RBC: 1 s

Die Werte wurden für die in Abbildung 60 dargestellten Architektur ermittelt:

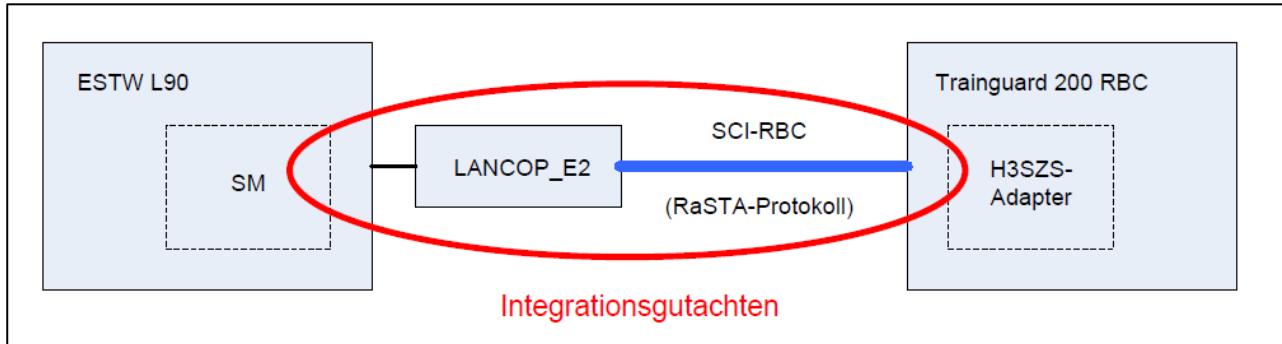


Abbildung 60: Betrachtete Architektur des Integrationsgutachtens (Quelle: Integrationsgutachten)

In Tabelle 50 sind die Anforderungen und die in Integrationsgutachten ermittelten Werte gegenübergestellt. Da der gemessene Wert für die in der Zeile „internen Signalhaltstellung im Stellwerk bis Empfang der Meldung am Eingang der ETCS-Zentrale“ dargestellte Anforderung nicht die Übertragung ESTW – RBC beinhaltet, wurde ein Wert von 0,5 s hinzugefügt, um ihn vergleichbar zu machen.

Tabelle 50: Vergleich der Anforderungen mit den Werten des Integrationsgutachtens

BTSF ID	Anforderung	Wert	Integrations-gutachten
BTSF3.000.3809	internen Signalhaltstellung im Stellwerk bis Empfang der Meldung am Eingang der ETCS-Zentrale	0,5 s	1 s + 0,5 s (für Übertragung ESTW-RBC)
	Verarbeitungszeit in der ETCS-Zentrale	0,5 s	1 s

Die Lastenheftanforderungen werden hier deutlich überschritten.

Da es sich bei dem betrachteten Fall um den Signalhaltfall handelt und nicht um das Erzeugen einer Fahrerlaubnis im Falle des Nachfahrens, werden diese Werte nur zum Vergleich herangezogen.

Systemlaufzeiten NeuPro

Grundlage für die nachfolgend ermittelten Systemlaufzeiten NeuPro waren folgende Dokumente:

- Ermittlung_Systemreaktionszeiten_ESTW_NeuPro_V2.0.pdf
- NeuPro.211 Bewertung der spezifizierten Reaktionszeiten im System ESTW-NeuPro V1.pdf

Laufzeitanforderungen der TSI

Subset-041 enthält die Performanceanforderungen für ETCS.

Die für diese Betrachtungen relevante Anforderung steht in Kapitel 5.2.1.4 des Subset-041 und ist nachfolgend dargestellt.

A	B	C	D	E	F
	Zeit	für Simulation Basis-Szenario	für Simulation ETCS+ und aller weiteren Szenarien	NeuPro	NeuPro mit ZL für Simulation Stufe 2
1					
2					
3	Bemerkungen				
4	Stellwerk Verarbeitung				
5	Fahrstraßenauflösezeit	3,4	3	3	3
6	Fahrstraßenbildezeit ohne Weiche (durchschnittlich, mit ZL 3 Sekunden)	8	6	6	6
7	Fahrstraßenbildezeit ohne Weiche (durchschnittlich)			3	
8	Fahrstraßenbildezeit mit einer Weiche (durchschnittlich, mit ZL 3 Sekunden)	13	12	12	12
9	Fahrstraßenbildezeit mit einer Weiche (durchschnittlich)			9	
10	Fahrstraßenbildezeit - jede weitere Weiche			0,4	
11	Fahrstraßenbildezeit Richtwert			12	
12	Übertragung einer restriktiven Information			1	

Abbildung 61: NeuPro-Laufzeiten

In Abbildung 61 Spalte „D“ sind die aus den Dokumenten ermittelten Laufzeiten dargestellt. Diese wurde in Spalte „E“ um die Zuglenkung erweitert. In Spalte “F“ sind die für die Simulation verwendeten Laufzeiten dargestellt.

5.2.1.4 Delay between receiving of a MA via radio (both from RBC and from radio in-fill) and the update of EOA on-board

Description	delay between receiving of a MA via radio (both from RBC and from radio in-fill) and the update of EOA on-board
Start Event	Reception of the complete MA message at the GSM-R mobile Euroradio interface
Stop Event	Indication to the driver
Value	< 1.5 sec
Notes	It is assumed that the update of the EOA is required by the message received. The value indicated in this case includes additional delay for the display of the information.

Abbildung 62: Auszug aus Subset-041

2.6.4 Laufzeitmessungen

Laufzeitmessungen sind neben der Befragung der Hersteller eine wichtige Basis, um einschätzen zu können, wie realistisch die angenommenen Laufzeiten sind.

Im Rahmen der Studie wurden zwei Methoden angedacht:

1. Messfahrten auf der VDE8
2. Auswertung von Logfiles

2.6.4.1 Messfahrten

Es wurde ein Konzept zur Durchführung von Testfahrten auf der VDE8 erarbeitet (siehe Anhang 2).

Ziel der Messfahrten ist es, auf der VDE8 Messwerte für die Gesamlaufzeit zu bestimmen und aus den Logfiles Teillaufzeiten zu ermitteln. Die VDE8 wurde deshalb ausgewählt, weil sie eine vergleichbare Architektur aufweist. Ein weiteres Ziel besteht darin eine repräsentative Anzahl von Messwerten zu erhalten, um Verteilungen angeben zu können. In Abbildung 63 ist der grundsätzliche Messaufbau dargestellt.

Die Zuglenkung ist nicht extra dargestellt, sie ist aber am Ablauf beteiligt und geht in die Zeit des ESTWs mit ein.

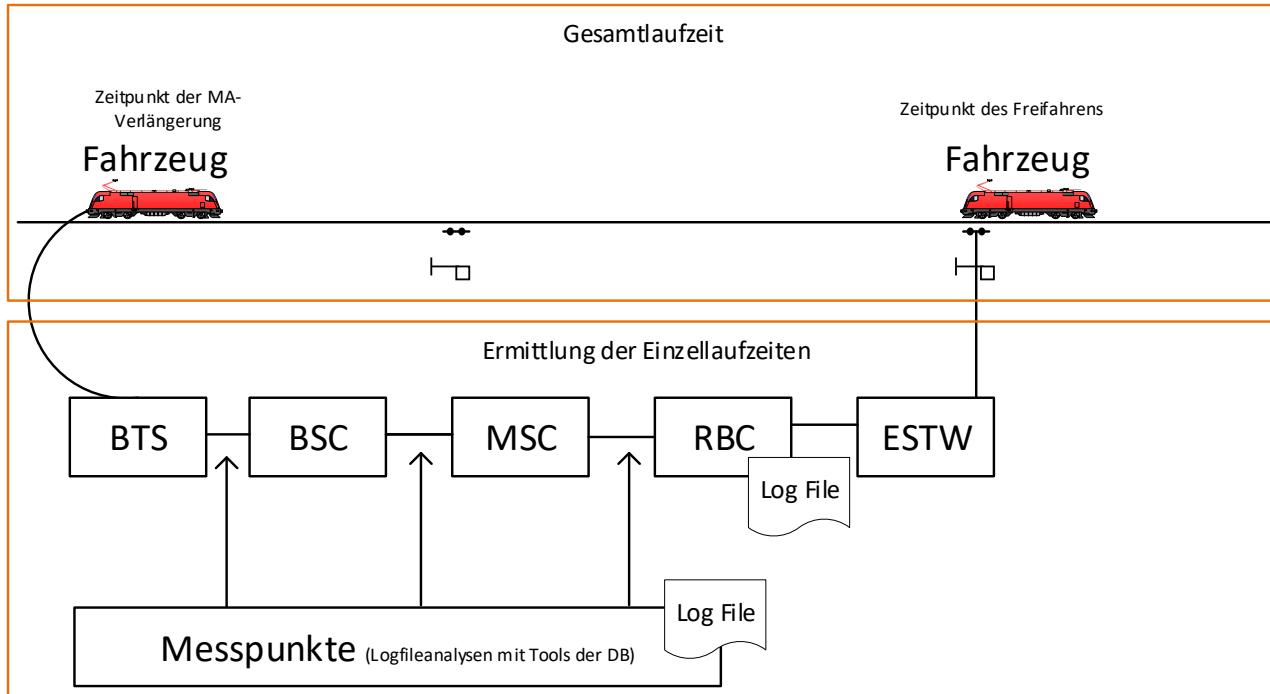


Abbildung 63: Messaufbau für Messfahrten VDE8

Durch die Projektleitung wurde entschieden, dass Messfahrten nicht durchgeführt werden.

2.6.4.2 Auswertung von Logfiles

2.6.4.2.1 Allgemeines

Da bei der in Kapitel 2.6.4.1 dargestellten Messung nur die Gesamlaufzeit ermittelt werden kann, dient die Auswertung der Logfiles der Ermittlung von Teillaufzeiten.

Ursprünglich war es die Idee auch Logfiles vom ESTW auszuwerten. Nach den Gesprächen mit I.NPS 331 und den Herstellern wurde jedoch klar, dass eine Auswertung der Stellwerkslogfiles zur Laufzeit, um Laufzeiten zu ermitteln sehr schwer möglich sein wird.

Abbildung 63 zeigt die derzeitig zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zum Messen der Laufzeiten.

Ein wesentliches Messmittel ist das ERTMS-Analysesystem (QATS der Firma Expandium).

Dieses zeichnet folgende Schnittstellen auf:

RBC-MSC (Messpunkt am Standort der MSC an der ISDN-Schnittstelle)

MSC-BSC (Messpunkt am Ausgangsverteiler des Mediagateway an der Schnittstelle Abis)

BSC-BTS (Messpunkt am Standort der BSC an der Schnittstelle A)

Die Aufzeichnung der Schnittstellen erfolgt so, dass keine zusätzlichen Laufzeiten entstehen.

Für die Auswertung wurde nur die Schnittstelle RBC-MSC betrachtet, da das GSM-R im Moment als ein System angesehen wird. Sollte es notwendig sein, später detailliertere Betrachtungen auch an den anderen Schnittstellen des GSM-R vorzunehmen, so kann dies auf Basis der vorhandenen Logfiles durchgeführt werden.

Darüber hinaus stehen RBC und JRU Logfiles des Fahrzeugs zur Auswertung zur Verfügung.

Da die Aufzeichnungen des RBCs nicht genormt sind, haben die verschiedenen Hersteller unterschiedliche Auswertemöglichkeiten. Das RBC der Firma Siemens, welches auf der VDE8 in Betrieb ist, hat ein umfangreiches Diagnosesystem.

Grundsätzlich wäre es auch möglich die Schnittstelle RBC-ESTW mittels des ERTMS Analysetools aufzuzeichnen. Ob dies sinnvoll ist und zukünftig gemacht werden soll ist nicht Bestandteil dieser Studie.

Die JRU auf dem Fahrzeug ist europäisch durch die TSI CCS genormt.

Grundsätzlich muss gesagt werden, dass die Logfiles nicht mit dem Hintergrund entwickelt wurden Laufzeiten zu ermitteln. Trotzdem geben sie einen guten Aufschluss über die Laufzeiten. Insbesondere wenn die Gesamlaufzeit bekannt ist, lassen sich die Teillaufzeiten gut einordnen.

2.6.4.2.2 Auswertungen

Um die Auswertung einmal vollständig durchzuführen wurden Ereignisse gesucht, an denen die Situation des dichten Hinterherfahrens auftrat. Diese Ereignisse sollten aus den betrieblichen Aufzeichnungen der DB Netz gewonnen werden. Leider konnten keine derartigen Aufzeichnungen ausgewertet werden.

Daraufhin wurde eine Start of Mission in Erfurt (411528, Zugnummer: 78885 am 04.01. um 7:59 Uhr) ausgewählt.

Ausgewertet wurden die entsprechenden RBC Logfile und JRU Logfile, die anhand ihrer Messages synchronisiert wurden.

Die Laufzeit vom Aufzeichnen des Sendens der Nachricht vom RBC bis zum Aufzeichnen des Empfangs der Nachricht in der OBU beträgt ca. 1 s.

2.6.5 Befragung der Hersteller zu Laufzeiten

Gemeinsam mit der DB AG wurde eine Fragenliste an Hersteller erarbeitet, die das Ziel hat, die Realisierbarkeit bestimmter Planungsaspekte und Laufzeiten mit den heutigen Produkten zu ermitteln.

Diese Fragenliste wurde an potenzielle Lieferanten gesendet und jeweils in einem Meeting durchgesprochen.

Potenzielle Lieferanten sind:

- Alstom
- Bombardier
- CAF
- Siemens

- Stadler
- Thales

Die Firmen Ansaldo, Scheidt und Bachmann wurde ebenfalls angefragt, haben aber abgesagt.

Die Aussagen der Hersteller bezüglich Laufzeiten sind in der nachfolgenden Abbildung herstellerneutral dargestellt.

	A Zeit	B für Simulation Basis-Szenario	C für Simulation ETCS+ und aller weiteren Szenarien	D minimaler Wert	E maximaler Wert
1					
2					Herstellerbefragung
3	Bemerkungen			bei DB kein ESTW	bei DB kein ESTW
4	ESTW Verarbeitung				
5	Fahrstrassenauflösezeit	3,4		2	3,4
6	Fahrstrassenbildezeit ohne Weichen	8		7	8
7	Fahrstrassenbildezeit mit einer Weiche	13		12	13
9	Zuglenkung	<i>bereits in Fahrstraßen- bildezeit enthalten</i>	<i>bereits in Fahrstraßen- bildezeit enthalten</i>		
11	Übertragung Signalbegriff ESTW - RBC	0,5	0,5		
13	RBC Verarbeitung				
14	Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen minimal	8			
15				0,176	1,2
16	durchschnittlich	0,5	0,5	0,3	1,65
17	maximal für MA			0,7	2,25
18	maximal für Haltfall			-	-
20	GSM-R Übertragung				
22	GSM-R bzw. SCI-RBC Laufzeitverzögerung (Aufschlag)				
24	OBU Verarbeitung und Anzeige	1,5	1,5		

Abbildung 64: Aussagen der Hersteller zu Laufzeiten

Eine Besonderheit ergab sich bei der Befragung der Firma Siemens.

Auf der VDE 8 hat die Firma Siemens die Wartezeit, die für stellrechnerübergreifende Fahrterlaubniserteilung angesetzt werden kann an jedem Signal realisiert. Dies ist so nicht notwendig und wurde in den nachfolgenden Betrachtungen so auch nicht berücksichtigt.

Diese Wartezeit wurde nur an Stellrechnergrenzen berücksichtigt (siehe Kapitel 2.6.6).

Bei Thales ergab sich ebenfalls eine Besonderheit. Die 3 s für die Zuglenkung sind eine Wartezeit, die entsteht, da gleichzeitig nur eine Fahrstraße eingestellt werden kann. Thales müsste eine entsprechende Entwicklung vornehmen, um gleichzeitig mehrere Fahrstraßen einstellen zu können.

Die Fahrstraßenauflösezeit in Spalte B (orange markiert) entspricht nicht dem konservativen Wert, d.h. es ist nicht der Maximalwert gewählt worden. Dies liegt daran, dass nach Fertigstellung der Simulation von einem weiteren Stellwerkshersteller Laufzeiten zugeliefert wurden, die dann nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Diese nach Fertigstellung der Simulation zugelieferten Zeiten sind jedoch in den Spalten D und E berücksichtigt.

Die Laufzeit im ETCS-Fahrzeuggerät wurde in Ermangelung von Messwerten anhand des in der TSI vorgegeben Wertes festgelegt. Dabei handelt es sich um eine Mindestanforderung, d.h. eine maximale Laufzeit. Eine Messung erscheint auf Grund der fehlenden Messmöglichkeiten (es müssten eingehende Nachrichten am MT ermittelt werden können) als praktisch nicht durchführbar.

2.6.6 Ermittelte Werte zu Laufzeiten

Abbildung 65 zeigt die ermittelten Werte aus den Anforderungen, der Herstellerbefragung und der Befragung der DB Netz.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
	für Simulation Basis-Szenario	für Simulation ETCS+ und aller weiteren Szenarien	minimaler Wert	maximaler Wert	nur ein Wert vorhanden	DB Netz Aussage	BTSF: SCI-RBC	TSI
1								
2								
3	Bemerkungen							
4	ESTW-Verarbeitung							
5	Fahrstraßenauflösezeit	3,4	3	3,4	4,2			
6	Fahrstraßenbildezeit ohne Weichen	8	6	3,7	8			
7	Fahrstraßenbildezeit mit einer Weiche	13	12	7,2	13			
9	Zuglenkung	bereits in Fahrstraßenbildezeit enthalten	bereits in Fahrstraßenbildezeit enthalten			3		
11	Übertragung Signalbegriff ESTW - RBC	0,5	0,5				0,5	
13	RBC-Verarbeitung							
14	Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen	8						
15	minimal							
16	durchschnittlich	0,5	0,5	0,176	1,2			
17	maximal für MA			0,3	1,65			
18	maximal für Haltfall			0,7	2,25			
20	GSM-R-Übertragung	0,8	0,8	-	-	0,457	0,8	0,5
22	GSM-R bzw. SCI-RBC-Laufzeitverzögerung (Aufschlag)	1	1					1
24	OBU-Verarbeitung und Anzeige	1,5	1,5	1,5	1,5			1,5
25								
27	Summe ohne Weiche	16	14					
28	Summe mit Weiche	21	20					
29	Summe an Stellrechnergrenzen	29	-					

Abbildung 65: Übersicht Laufzeiten

Bei den Angaben zu den RBC-Verarbeitungszeiten ist zu beachten, dass nicht alle Hersteller ein RBC in Deutschland haben, daher sind die von diesen Herstellern genannten Laufzeiten nicht direkt auf die DB AG übertragbar.

Auf Basis der in der Spalte E aufgeführten Zeiten und der aus NeuPro ermittelten Werte wurden die Laufzeiten für die Simulation der einzelnen Ausrüstungsszenarien abgeleitet.

Die Fahrstraßenauflösezeit in Spalte B (orange markiert) entspricht für das Basis-Szenario nicht dem konservativen Wert, d.h. es ist nicht der Maximalwert gewählt worden. Dies liegt daran, dass nach Fertigstellung der Simulation von einem weiteren Stellwerkshersteller Laufzeiten zugeliefert wurden, die dann nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

Im Schritt 2 der Studie wurden dann neue Werte für das DSTW ermittelt. Diese sind in Spalte C berücksichtigt.

Grundsätzlich sind die Laufzeitwerte für das Basis-Szenario konservativ gewählt worden, um belastbare Aussagen zu erhalten.

Für alle weiteren Szenarien wurden die Werte auf Stellwerksseite entsprechend den Erkenntnissen aus NeuPro angepasst.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit, die jedoch derzeitig nicht quantitativ beziffert werden kann, ist die Möglichkeit, einen Selbststellbetrieb im Stationsbereich einzurichten. Diese Möglichkeit wurde von einem Hersteller genannt.

2.6.6.1 Vergleich mit anderen Realisierungen

Um die für die Simulation ermittelten Werte bewerten zu können, wurden Laufzeiten aus anderen Projekten und Realisierungen zum Vergleich ermittelt.

Aus einer Vielzahl von Realisierungen wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber folgende Realisierungen ausgewählt:

- London Thameslink
- Mattstetten-Rothrist
- S-Bahn München.

Die detaillierte Betrachtung ist dem Anhang 3 „Laufzeiten im Vergleich“ (siehe Kapitel 6) zu entnehmen.

2.6.6.1.1 London Thameslink

Für den Londoner Thameslink wurde von SIEMENS eine Systemanalyse durchgeführt, die für die nachfolgende Auswertung benutzt wurde (siehe 20171016 Thameslink Worst-Case-Timing.pdf). In dieser Analyse wurden sowohl die ETCS-Signallaufzeiten als auch Umschaltzeiten von Signalen betrachtet. Die Zeiten des ESTW selbst wurden nur teilweise betrachtet, daher können diese nicht in den Vergleich mit einbezogen werden.

Es gibt zwei verschiedene technische Realisierungen, für die je zwei Szenarien betrachtet wurden. Für jedes Szenario und jede Realisierung wurden die kleinste und die größte Zeit ermittelt.

Diese Zeiten wurden entsprechend in das Kapitel 2.6.6.1.4 übernommen

2.6.6.1.2 Mattstetten–Rothrist

In Mattstetten-Rothrist wurden Stellwerke und das RBC von der Fa. Alstom installiert. In einer Analyse wurden die Zeitdifferenzen von der Frei- oder Belegt-Umschaltung eines Abschnittes bis zur Anzeige der aktualisierten MA auf dem DMI erfasst.

Es wurden durchschnittliche und maximale Laufzeit ermittelt.

Diese Zeiten sind in Kapitel 2.6.6.1.4 dargestellt

2.6.6.1.3 S-Bahn München

Bei der S-Bahn München wurde die Zeit zwischen Räumung der Fahrstraßen-Zugschlussstelle und der Dunkelschaltung des Signals gemessen. Diese Zeit ist in Kapitel 2.6.6.1.4 dargestellt.

2.6.6.1.4 Zusammenfassung vergleichender Laufzeiten

Abbildung 66 zeigt die Zusammenfassung der Laufzeiten aus Vergleichsrealisierungen.

A	B	C	D	E	F
1	für Simulation Basis-Szenario	für Simulation ETCS+ und aller weiteren Szenarien	London Thameslink	Mattstetten-Rothrist	S-Bahn München
2					
3 Bemerkungen					
4 ESTW-Verarbeitung					
Zeit vom Stellbefehl des Signals im ESTW bis zum Stellen des Signals				1	
Zeit Signalfahrtstellung (beginnend mit der physischen Räumung über die Fahrstraßenbildung bis hin zur Dunkelschaltung)					4
7 Fahrstraßenauflösezeit	3,4	3	nicht angegeben		
8 Fahrstraßenbildezeit durchschnittlich	8	6		4,1	
9 Fahrstraßenbildezeit maximal	13	12		4,6	
11 Zuglenkung					
13 Übertragung Signalbegriff ESTW - RBC					
15 RBC-Verarbeitung					
16 Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen minimal	8				
17 durchschnittlich	0,5	0,5		0,8	
19 maximal			2,5	1,6	2,3
22 GSM-R-Übertragung					
23 durchschnittlich	0,8	0,8	0,5	1,1	
24 maximal				2,5	
26 GSM-R bzw. SCI-RBC-Laufzeitverzögerung (Aufschlag)			-		
28 OBU-Verarbeitung und Anzeige					
29 minimal			1		
30 durchschnittlich				1,2	
31 maximal	1,5	1,5	1,5	1,8	
33 Minimale Gesamtaufzeit			kann nicht angegeben werden, da ESTW-Zeiten nicht verfügbar sind		
34 Durchschnittliche Gesamtaufzeit				8	
35 Maximale Gesamtaufzeit				11,2	
36					

Abbildung 66: Zusammenfassung vergleichender Laufzeiten

Die Laufzeiten des Stellwerks können nur mit denen aus Mattstetten-Rothrist verglichen werden. Diese sind kürzer, als die für die Simulation festgelegten Laufzeiten.

Da in der Schweiz eine andere Betriebsordnung besteht, könnte dies ein Grund für die kürzere Laufzeit sein.

Die Laufzeiten des RBCs sind in den Vergleichsprojekten länger als die für die Simulation festgelegten Laufzeiten. Für die Simulation wurden die Laufzeiten auf Basis der Herstellerbefragung festgelegt.

Die Laufzeiten zur GSM-R-Übertragung für die Simulation liegen zwischen denen der Vergleichsprojekte. Allerdings wurde für die Simulation ein weiterer Laufzeitwert für die Übertragung berücksichtigt, da dieser im BTSF enthalten ist (GSM-R und SCI-RBC Laufzeitverzögerung (Aufschlag)). Damit liegt man im Bereich von Mattstetten-Rothrist.

Die OBU-Laufzeiten für die Simulation liegen in etwa so, wie bei den Vergleichsprojekten.

Aus Sicht des Vergleiches liegen die Zeiten für das RBC, die GSM-R-Übertragung und die OBU in etwa wie bei den Vergleichsprojekten. Die Laufzeiten im Stellwerk dagegen liegen für die Simulation deutlich höher als bei Mattstetten-Rothrist.

Eine genauere Untersuchung dieser Unterschiede wäre mittels Laufzeitmessungen auf der VDE8 möglich gewesen. Es wurde jedoch durch die Projektleitung entschieden, diese Messungen nicht durchzuführen.

2.6.7 Detailbeschreibung zur Verfügbarkeit

2.6.7.1 Lastenheftvorgaben

Es wurden die Lastenhefte ETCS, ESTW und GSM-R bezüglich der Verfügbarkeitsanforderungen analysiert.

Für ETCS wurden das BTSF und die Teillistenhefte analysiert. In den nachfolgend genannten Lastenheften sind quantitative Anforderungen an die Verfügbarkeit enthalten:

- Teillistenheft 1 fordert, dass ETCS Level 1 und 2 nicht zu einer Verschlechterung der Verfügbarkeit (Erhöhung der Verspätungsminuten) führen darf.
- Im Teillistenheft 6 sind im Kapitel 5.3 konkrete technische Verfügbarkeiten für die ETCS-Fahrzeugausstattung gefordert.
- Das Teillistenheft 7 benennt im Kapitel 7.3 die technischen Verfügbarkeiten der ETCS-Streckenausrüstung.

Die Untersuchung der Verfügbarkeit muss auch unter dem Gesichtspunkt kurzer Blockabschnitte geschehen, da diese eine Vervielfachung der Außenanlage zur Folge hat. Dabei ist im Bahnbetrieb nicht nur die theoretische Zuverlässigkeit der Komponenten zu betrachten, sondern auch der Ausfall aufgrund mechanischer Zerstörung. Dies betrifft Achszählpunkte inkl. Verkabelung und Balisen.

Im Modulvertrag sind Regelungen zur Erfassung der Verfügbarkeit der Anlagen und Komponenten getroffen.

Verfügbarkeitsforderungen - sofern nicht betrieblicher Art - bzgl. GSM-R sind im Rahmen dieser Studie im Kapitel 2.2 behandelt.

Für das ESTW wurden folgende Lastenhefte untersucht:

- ESTW_F8_B2_F1.0

- ESTW Teilheft F12_B0 F2.0
- ESTW Teilheft F8_Z01 V1.1.

Bezüglich der quantitativen Verfügbarkeitsanforderungen sind in diesen Lastenheften keine Anforderungen vorhanden.

Die weitere Recherche ergab, dass es für das ESTW keine Verfügbarkeitsanforderungen gibt.

2.6.7.2 Ableitung von Verfügbarkeitsanforderungen für ESTW

Da es in den ESTW LH keine quantitativen Verfügbarkeitsanforderungen gibt, wurde die Recherche auf weitere Unterlagen ausgedehnt. Die betriebliche Gefährdungsanalyse ETCS L2 / das E&E Papier „Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten“ enthält Verfügbarkeitsangaben zu den Stellwerksaußenanlagen, welche als MTBF und MDT angegeben sind.

Tabelle 51: Verfügbarkeitsangaben aus E&E-Papier "Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten"

#	Störung	Komponente(n)	MTBF	MDT
1	Signalstörung	Signal (einschließlich Schnittstelle)	182.000 h	2 h
2	Weichenstörung	Weiche (einschließlich Schnittstelle)	143.000 h	2 h
3	Gleisfreimeldestörung	Gleisfreimeldung (einschließlich Schnittstelle)	219.000 h	2 h

Diese Daten wurden im Feld ermittelt und enthalten daher auch Störungen, welche durch Umwelteinflüsse außerhalb der zulässigen Grenzen (z. B. mechanische oder thermische Überbelastung) hervorgerufen sind. Daher wird empfohlen die MTBF-Werte aus Tabelle 51 leicht zu verringern und diese Werte als Vorgabe zu verwenden.

Damit verbleiben folgende Komponenten und Schnittstellen, für welche ebenfalls Verfügbarkeitswerte festzulegen sind:

- 1) ESTW Kern
- 2) Schnittstelle RBC – ESTW
- 3) Schnittstelle ESTW – ESTW

Im ETCS TLH 7 „RAMS Strecke“ ist die Verfügbarkeit für die Schnittstelle RBC – ESTW bereits definiert. Für eine redundante Telekommunikationsleitung (Hot-Standby) ist dort eine MTBF 486.000 h bei einer MTTM von 4 h angegeben. Gleichermaßen ist im TLH 7 für die Schnittstelle RBC – RBC angegeben und kann -unter der Maßgabe, dass die Schnittstelle ebenfalls als redundante Telekommunikationsleitung (Hot-Standby) ausgeführt wird, auch für die Schnittstelle ESTW – ESTW übernommen werden.

Für die Ermittlung der Verfügbarkeit des ESTW-Kerns konnten folgende Analogien ermittelt werden:

1. die geografische Ausdehnung eines durch ein ESTW gesteuerten Bereichs ist etwas gleich groß wie der geografische Bereich eines RBC, ein RBC beinhaltet je nach Verkehrsichte in dem betreffenden Abschnitt typischerweise 1...3 ESTW Bereiche.

2. die betriebliche Auswirkung eines Totalausfalls eines ESTW ist mit dem Totalausfall eines RBC vergleichbar, für Anwendungen von ETCS L2 ohne Lichtsignale führen beide Ausfälle de facto zu einer Einstellung des Betriebs.
3. praktisch alle Hersteller verfolgen eine Strategie, gleichartige Architekturen aus HW und Betriebssystemsoftware (sogenannte Plattformen) für alle Produkte einzusetzen, entsprechend ergeben sich für die sicheren Kerne aller Produkte ohnehin gleiche Verfügbarkeitswerte.

Unter Berücksichtigung oben genannter Analogien erscheint es zweckmäßig als Verfügbarkeit für die ESTW Kerne die Verfügbarkeit der RBC Kerne anzunehmen.

Zusammengefasst ergeben sich als Konsequenz obiger Daten und Überlegungen folgende Verfügbarkeitskennwerte für ESTW.

Tabelle 52: Verfügbarkeitskennwerte für ESTW

#	Komponente(n)	MTBF	MDT	Quelle
1	Signal (einschließlich Schnittstelle)	150.000h	2h	abgeleitet aus E&E-Dokument „Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten“
2	Weiche (einschließlich Schnittstelle)	100.000h	2h	abgeleitet aus E&E-Dokument „Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten“
3	Gleisfreimeldung (einschließlich Schnittstelle)	200.000h	2h	abgeleitet aus E&E-Dokument „Vorbeifahrt am Halt - bei Befehlsfahrten“
4	ESTW Kern	800.000h	1h	abgeleitet aus Anforderung für RBC Kern, ETCS Teillistenheft 7 - RAMS Strecke
(5)	(Schnittstelle RBC – ESTW)	(4.860.000h)	(4h)	(bereits definiert in ETCS Teillistenheft 7 - RAMS Strecke)
6	Schnittstelle ESTW – ESTW	4.860.000h	4h	abgeleitet aus Anforderung für Schnittstelle RBC – ESTW, ETCS Teillistenheft 7 - RAMS Strecke

2.6.7.3 Bewertung der Lastenheftvorgaben

Für ETCS und GSM-R sind entsprechende Verfügbarkeitsanforderungen definiert.

Im Modulvertrag sind Regelungen zur Erfassung der Verfügbarkeit der Anlagen und Komponenten getroffen. Damit ist aus Sicht des Auftraggebers für ETCS alles getan, was notwendig ist, um die Verfügbarkeit im System zu gewährleisten. Ob diese geforderten Verfügbarkeitswerte ausreichend sind, kann derzeit nicht bewertet werden, da die Anforderungen für die Stammstrecke Stuttgart noch nicht vorliegen.

Es wäre daher sinnvoll für das Projekt Stuttgart Stammstrecke entsprechende Anforderungen zu definieren.

Für das ESTW liegen ebenfalls keine Verfügbarkeitsanforderungen vor, daher ist es auch hier sinnvoll entsprechende Verfügbarkeitsanforderungen in der Ausschreibung zu definieren.

2.6.7.4 Maßnahmen zur Risikominimierung

Es wurde vereinbart Maßnahmen zur Vermeidung bzw. schnellstmöglichen Eliminierung systematischer Fehler nach Inbetriebnahme zu ermitteln.

Diese sind nachfolgend dargestellt. Zu jeder dieser Maßnahme ist die Umsetzung bei der DB Netz beschrieben und eine Bewertung/Empfehlung gegeben.

Folgende Maßnahmen werden als sinnvoll erachtet:

- **Verantwortlichkeiten der Hersteller insbesondere bzgl. Systemintegration klar definieren**

Im Vertrag sollte klar definiert sein, welche Verantwortung und welche Mitwirkungspflichten der jeweilige Lieferant bzgl. der Systemintegration hat.

Umsetzung bei der DB Netz:

Entsprechende Regelungen / Verantwortlichkeiten sind im ETCS Modulvertrag (und ETCS L1LS Rahmenvertrag) hinterlegt. Der Hersteller (AN) ist vertraglich verpflichtet eine IBN gemäß TEIV § 6 zu erwirken und einen uneingeschränkten Betrieb, ohne Nebenbestimmungen auf der ausgerüsteten Strecke sicherzustellen. Hierzu muss der AN durch entsprechende Labor- / Feldtests auch eine erfolgreiche Systemintegration nachweisen. Die DB Netz als Auftraggeber (AG) beteiligt sich an diesem Prozess im Rahmen ihrer Betreiberverantwortung.

Bewertung/Empfehlung:

Diese empfohlene Maßnahme ist bei der DB Netz bereits umgesetzt.

- **Übergeordnete Releaseplanung**

Wenn es mehrere Lieferungen (z. B. Softwarereleases) der Hersteller gibt, sollte ein klare Releasedefinition (Inhalte, Termine) vorhanden sein und eine übergeordnete Releaseplanung über alle Lieferungen gepflegt werden. Bei der übergeordneten Releaseplanung sollte insbesondere für die ETCS-Streckenausrüstung ein Release zu Fehlerbehebung, basierend auf den Erkenntnissen der Erprobungsphase, eingeplant werden. Dieses Release zur Korrektur verfügbarkeitsrelevanter Fehler sollte ca. 6 Monate nach IBN eingeplant werden.

Umsetzung bei der DB Netz:

Sicherheitsrelevante Fehler die im Rahmen der Sicherheitserprobung (SE) auftreten, müssen bereits vor der IBN mit einem neuen Release durch den Hersteller behoben werden (ggf. sind kurzfristig betriebliche Kompensationsmaßnahmen erforderlich). Hierzu ist während der Sicherheitserprobung (vor der IBN) bei I.NPS 321 ein Fehlermanagement aktiv. Nach der IBN startet das ETCS Monitoring bei I.NPS 322, wo auch verfügbarkeitsrelevante Fehler erfasst, bewertet und im Zusammenspiel mit Hersteller / InGe / Aufsichtsbehörde(n) entsprechende Abhilfemaßnahmen und erforderliche Releasenpläne terminiert werden.

Bewertung/Empfehlung:

Diese empfohlene Maßnahme ist bei der DB Netz bereits umgesetzt.

- **Systemintegrator**

Es sollte ein Systemintegrator etabliert werden, der die Aufgabe hat, alle subsystemübergreifenden Fragestellungen zu lösen, die im Zusammenhang mit der Integration, der Abnahme, der Inbetriebnahme und dem Betrieb des Systems in der ersten Zeit stehen.

Umsetzung bei der DB Netz:

Aufgrund der Komplexität und Größe der VDE 8 wurde in diesem Projekt erstmals die Stelle des Systemintegrators ETCS eingerichtet. Dieser fungiert als Vermittler zwischen DB Netz AG, EVUs, EBA und den Herstellern, um die Inbetriebnahme der Fahrzeuge auf der Strecke abzusichern. Derzeit ist in Klärung ob die Funktion des ETCS Systemintegrators generell bei (Groß)Projekten vorzusehen ist.

Bewertung/Empfehlung:

Diese empfohlene Maßnahme ist bei der DB Netz bereits umgesetzt.

- **Offenlegung von Fehlern und Abweichungen**

Die Hersteller sollten vertraglich verpflichtet werden die nachfolgenden Punkte offen zu legen:

Fehler mit Auswirkungen auf andere Systemkomponenten und

Abweichungen von der TSI (auch zusätzlich implementierte CRs).

Die Erfahrung zeigt, dass es keine Produkte gibt, die die TSI oder die Lastenhefte vollständig erfüllen.

Daher ist es notwendig, vorhandene Abweichungen zu analysieren und ggf. Maßnahmen zu deren Umgehung zu ergreifen. Dies beinhaltet auch zusätzlich zur TSI implementierte Change Requests.

Umsetzung bei der DB Netz:

Fehler mit Auswirkungen auf andere Teilsysteme können auch produktspezifische Nutzungsbedingungen sein.

Generell gilt: werden zur Ausführung der Anlage Interoperabilitätskomponenten eingesetzt, so müssen dafür die EG-Konformitätserklärungen durch den AN erwirkt und vorgelegt werden.

Die Umsetzung der ETCS Lastenhefte (insbesondere BTSF) der DB Netz durch den AN minimiert die Anzahl möglicher Abweichungen von der TSI.

In der Regel werden Abweichungen vom Lastenheft bereits in der Pflichtenheftphase vom AN ausgewiesen.

Diese Abweichungen werden in der Regel entweder direkt vom AN behoben, vom AG akzeptiert oder als SAC (Safety Application Conditions) an den AG übergeben.

Bewertung/Empfehlung:

Diese empfohlene Maßnahme ist bei der DB Netz bereits umgesetzt.

- **Eigenes Set an Testfällen**

Für Tests der DB Netz sollten eigene Testfälle auf Basis betrieblicher Abläufe erstellt werden. Darüber hinaus ist es sinnvoll weitere Testfälle bzgl. Lasttests und Negativtests zu definieren. Dieses Testset sollte die Grundlage für Labor- und Feldtests im Rahmen der Systemintegration sein.

Umsetzung bei der DB Netz:

Die Erstellung der (projektspezifischen) Testspezifikation (Testfallkatalog und Testfallspezifikation) ist Aufgabe des AN. DB Netz unterstützt bei Fragen der Vollständigkeit (Fokus: betriebliche Aspekte), Plausibilität und Durchführbarkeit (Fokus: Feldtests).

Bewertung/Empfehlung:

Diese Maßnahme ist anders umgesetzt, als empfohlen. Dies kann dazu führen, dass die Testspezifikation des AN nicht den Anforderungen des Auftraggebers entspricht.

Es wird empfohlen, diesen Punkt zu vertiefen. Ziel sollte es sein, dass der Auftraggeber einen klaren Überblick darüber erhält, was das System funktional leistet in Bezug auf die vom AG gestellten Anforderungen.

- **Labortest vor Feldtests**

Vor den Feldtests sollten Tests bei den Herstellern in den Laboren durchgeführt werden. Diese sollten auf Basis betrieblicher Abläufe erfolgen. Die Durchführung kann dem Hersteller mit beauftragt werden, aber die Prüfung der Ergebnisse und die Fehlerverfolgung sollten durch die DB Netz erfolgen.

Umsetzung bei der DB Netz:

Labor- und Feldtests werden in der Regel bereits vor HdF vom Hersteller durchgeführt, in dieser Phase läuft die Fehlerverfolgung über das Fehlermanagement des Herstellers.

Testergebnisse aus der Phase vor dem HdF können für die Sicherheitserprobung (nach HdF aber vor der IBN) angerechnet werden. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch, dass Hard- und Softwareversionen unverändert sind. Während der Sicherheitserprobung ist das ETCS Fehlermanagement der DB Netz aktiv.

Bewertung/Empfehlung:

Diese Maßnahme ist anders umgesetzt, als empfohlen. Diese Vorgehensweise ist auch möglich. Dies kann jedoch dazu führen, dass beim Hersteller bekannte Fehler erst später durch die DB Netz entdeckt werden.

Es wird empfohlen, diesen Punkt zu vertiefen. Ziel sollte es sein, dass der Auftraggeber einen klaren Überblick darüber erhält, was das System funktional leistet in Bezug auf die vom AG gestellten Anforderungen.

- **Durchführen betrieblicher Tests im Feld, vor der Inbetriebnahme**

Es ist sinnvoll betriebliche Tests vor der Inbetriebnahme mit jedem neuen Release des RBC, der OBU durchzuführen (soweit es mehrere Releases gibt). Diese Tests machen jedoch erst dann Sinn, wenn eine gewisse Grundfunktionalität anforderungsgerecht umgesetzt wurde. Zur Durchführung der Tests sollte immer der gleiche Personenkreis eingesetzt werden. Dies betrifft insbesondere die Fahrdienstleiter und die Triebfahrzeugführer. Bei dem Test sollte die Aufzeichnung des DMIs und der Strecke erfolgen. Im Nachgang zu den Tests sollte die Auswertung der Logfiles und des DMI und Streckenaufzeichnungen erfolgen.

- **Erprobung vor Inbetriebnahme**

Es ist sinnvoll, eine Teilstrecke mit moderatem Betriebsaufkommen, als Erprobungsstrecke zu nutzen, um Erfahrungen mit dem System zu sammeln. Auf dieser Teilstrecke könnten auch die Feldtests durchgeführt werden und die Abnahme der Fahrzeuge erfolgen.

Umsetzung bei der DB Netz:

Es gibt bei der erstmaligen IBN einer Anlage in der Regel einen Vorlaufbetrieb vor der IBN, bei dem das ETCS System unter Sicherheitsverantwortung und unter Einschluss der relevanten Bediener und Regelwerke erprobt wird. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass auf dieser Teilstrecke alle implementierten Funktionen vorhanden und testbar sind.

Bewertung/Empfehlung:

Diese empfohlene Maßnahme ist bei der DB Netz bereits umgesetzt.

- **Fehlermanagement**

DB Netz sollte einen eigenen Fehlermanagementprozess haben, in dem alle Fehler der Systemintegration und die von den Herstellern erkannten Fehler mit Auswirkungen auf andere Subsysteme

geführt werden. Dieser Prozess sollte von der DB Netz geführt werden. Die Hersteller müssen verpflichtet werden in diesem Prozess mitzuarbeiten.

Umsetzung bei der DB Netz:

Die DB Netz hat ein ETCS Fehlermanagement eingerichtet, das mit der Sicherheitserprobung startet. Dies ist bei I.NPS 321 installiert. In regelmäßigen Konferenzen (DMB) werden die aufgetretenen Fehler mit den relevanten Projektbeteiligten (Hersteller / InGe / Aufsichtsbehörde ...) besprochen und einer Lösung zugeführt.

Bewertung/Empfehlung:

Diese Maßnahme ist etwas anders umgesetzt als empfohlen. Dies ist auch möglich, es kann jedoch dazu führen, dass beim Hersteller bekannte Fehler erst später durch die DB Netz entdeckt werden.

Es wird empfohlen, diesen Punkt zu vertiefen. Ziel sollte es sein, dass der Auftraggeber einen klaren Überblick darüber erhält, was das System funktional leistet in Bezug auf die vom AG gestellten Anforderungen.

- **Vermessung nach Installation**

Zur Vermeidung von systematischen Fehlern ist es sinnvoll, die Vermessung aller für ETCS relevanten Elemente nach erfolgter Installation der Balisengruppen durchzuführen.

Umsetzung bei der DB Netz:

Dies ist derzeit nicht zwingend in jedem Projekt vorgesehen. Bei Bestandsstrecken, die mit ETCS ausgerüstet werden sollen und bei denen die Bestandspläne die Qualitätsanforderungen von ETCS nicht ausreichend erfüllen, kann es sinnvoll sein, bereits vor der Erstellung des PT1 eine Streckenvermessung durchzuführen.

Bewertung/Empfehlung:

Diese Maßnahme ist bei der DB Netz teilweise umgesetzt. Dies kann dazu führen, dass auf Grund von Montagezwängen Elemente nicht dort sind, wo sie laut Planung liegen sollten.

- **Key-Management**

Die Erfahrung aus anderen Projekten hat gezeigt, dass das Key-Management durchaus Probleme vor und auch nach der Inbetriebnahme verursachen kann. Daher sollte darauf geachtet werden, dass frühzeitig ein funktionsfähiges Key-Management vorliegt.

Umsetzung bei der DB Netz:

Das Key-Management ist bei I.NPS 322 angesiedelt. Mit der Erweiterung des ETCS-Streckennetzes soll mittelfristig ein online KMC etabliert werden.

Bewertung/Empfehlung:

Die empfohlene Maßnahme ist in Realisierung.

2.6.7.5 Analyse von Übertragungslücken in der Datenübertragung zwischen RBC und OBU

Im Kick Off der Arbeitsgruppe wurde der Effekt besprochen, dass es im Falle von Wiederholung von Nachrichten eine größere Lücke und eine zweite Häufung in der Verteilung der Übertragung gibt.

Mögliche Fehlerursachen sind:

1. Bei zellularen Funknetzen gibt es systemimmanente Unterbrechungen während der Übertragung durch die Zellwechsel.
2. Die Datentransfer-Anforderungen sind höher als für konventionellen ETCS-Verkehr angenommen.
Allgemein akzeptierte Anforderungen sind z. B.
 OBU=> RBC position report Länge 65 Oktetts aller 6 sec
 RBC=> OBU Movement Authority 175 Oktetts aller 20sec gefolgt von
 OBU=> RBC MA acknowledgement 53 Oktetts
3. Ungeeignete QoS Werte
Auf eine "Transmission interference period" muss eine ausreichend lange „Error-free period“ folgen [Subset-093 Table2 und Annex A]. bei zeitlich längeren bzw. geographisch ausgedehnten Funkstörungen kann sonst ein Rückstau nicht übertragbarer HDLC-Frames eintreten.
4. Ungeeignete HDLC Parameter
Für ETCS ist eine große window size sinnvoll, um einen kontinuierlichen Fluss der Frames zu erreichen. Wenn das Fenster ausgeschöpft ist, muss eine Quittung in Gegenrichtung gesendet werden. Andernfalls (bzw. wenn diese Quittung verloren geht) stoppt die Übertragung der Frames.

Eine Analyse anhand von Daten wurde bisher nicht durchgeführt.

Mögliche Umgehungslösungen sind:

1. Optimiertes Funknetzdesign
Verzögerungseffekte beim Zellwechsel werden durch ein optimiertes Funknetzdesign vermieden, indem die unvermeidlichen Handover an einen Ort gelegt werden, wo sie unschädlich sind. Details dazu sind dem Kapitel 2.2.3.2 zu entnehmen.
2. Nutzung Non-transparenter Datendienst
In früheren Versionen von ETCS war optional das Senden von hochpriore Nachrichten ohne kryptografischen Sicherheitscode spezifiziert, um das schnellstmögliche Senden von Notfall-Nachrichten zu ermöglichen. Wegen der möglichen Sicherheitsprobleme (Authentizität und Integrität können durch den Empfänger nicht geprüft werden) wurde diese Funktion jedoch nicht genutzt. In Baseline 3 Release 2 existiert diese Funktion nicht mehr.
Anstelle der gegenwärtig vorgeschriebenen transparenten Datendienste könnte ein non-transparenter Datendienst verwendet werden. Dann würden Fehlerkorrekturen unmittelbar an der Luftschnittstelle und nicht Ende-zu-Ende ausgeführt.

3. Anpassung der HDLC Parameter

Speziell für die Datentransferanforderungen der S-Bahn könnten die HDLC-Parameter angepasst werden (timer, window size, number of retransmission attempts). Siehe z. B. [Subset-037 Annex F] Diese angepassten HDLC Parameter sind für den konventionellen ETCS Verkehr vermutlich ungeeignet, d.h. es wären spezielle RBC- und OBU-Konfigurationen erforderlich und ein Mischverkehr mit dem konventionellen ETCS Verkehr wären vermutlich nicht möglich. Da später ein solcher Mischverkehr im Netz der S-Bahn Stuttgart stattfinden soll, ist dies keine mögliche Option.

4. Datendienst in PS mode nutzen

In Baseline 3 Release 2 ist die Nutzung von GPRS spezifiziert. Dadurch werden hauptsächlich Kapazitätsprobleme der GSM-R Netze gelöst. Wie sich bei Erprobungen erwiesen hat, sind die Datentransferverzögerungen innerhalb einer Funkzelle außerdem niedriger als bei Datendiensten im CS-Mode. Nachteilig ist jedoch, dass die Fehlerkorrektur erst auf Applikationsebene erfolgt. Details hierzu sind im Kapitel 2.2.9.4 dargestellt.

Zurzeit existieren jedoch keine einsetzbaren Produkte.

3 Betriebsanalyse

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspaketes AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

3.1.1 Überblick

3.1.1.1 Ziele der Hauptaufgabe

Ziel der Betriebsanalyse ist die Unterstützung der Entwicklung der Szenarien durch eine betriebliche Nutzenbewertung der einzelnen Teilkomponenten sowie eine abschließende Gesamtbewertung und Priorisierung der Szenarien.

3.1.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Zusammengefasst liefert die Betriebsanalyse folgende Ergebnisse:

- Eine deutlich höhere Betriebsqualität ist möglich
- Der erste Schritt weist den Nutzen von ETCS nach und führt zu einer Ausweitung des Ausrüstungsraums, um die Betriebsqualität bereits im Zulauf zu stabilisieren.
- Mindestzugfolgezeiten können zum Teil um mehr als 20 % verkürzt werden
- Eine Taktverdichtung bis Stuttgart-Vaihingen ist streckenseitig möglich
- In Szenario „ETCS+“ und „ATO-Light“ ist unter richtlinienkonformen Haltezeitüberschreitungs-wahrscheinlichkeiten ein Abbau von Verspätung grundsätzlich möglich.
- Weitere Stabilisierung der Betriebsqualität durch Erhöhung der Streckengeschwindigkeit auf 80 km/h (Stammstrecke) erreichbar
- ETCS+ mit „ATO-Light“ ist als Trägersystem für mehr als 24 Züge/h auf der Stammstrecke nach Umsetzung flankierender Maßnahmen geeignet

Die Betriebsanalyse weist somit einen deutlichen Nutzen von ETCS zur Verbesserung der Betriebsqualität nach:

Eine ETCS-optimierte Infrastruktur (ETCS+) in Kombination mit technologischen Weiterentwicklungen im Bereich der Laufzeiten und ATO GoA2 reduziert das Verspätungsniveau auf 14 Sekunden. Nachstehend werden Kennzahlen zusammengefasst:

Tabelle 53: Simulationsergebnisse der Szenarien

	Ks/HV-Signalisierung Nullvariante	ETCS+ Stammstrecke Ausbaustufe 1	ETCS+ gesamter Betrachtungsraum Ausbaustufe 4a	ETCS+ mit „ATO-Light“ Ausbaustufe 5
Durchschnittliche Ver-spätungsänderung ²	10,0 s	-6,6 s	-9,3 s	-15,6 s
Median der Ver-spätungsänderung	0,0 s	0,0 s	-1,0 s	-3,0 s
Durchschnittliche Ver-spätung im letzten Halt bzw. bei Ausbruch	55,1 s	19,2 s	17,2 s	13,7 s
Entwicklung der 3-min-Pünktlichkeit über Be-trachtungsraum	-1,1 %	0,2 %	0,5 %	1,0 %

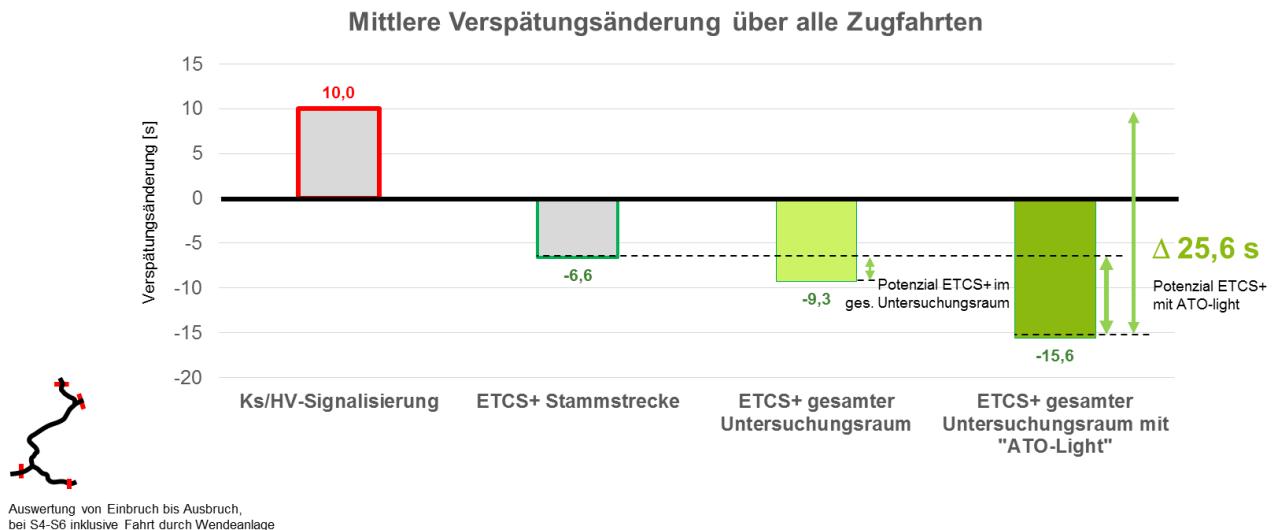


Abbildung 67: Mittlere Verspätungsänderung über alle Zugfahrten

² Mittlere Änderung der Verspätung der Züge über den Betrachtungsraum (Ausbruchsverspätung – Einbruchsverspätung). Bei den Kurzläufern wird dabei die Fahrt durch die Wendeanlage inklusiv Haltezeitreserve betrachtet. Dies ist notwendig, um die Interferenzen aus der vorherigen Fahrt richtig zu bewerten. Ebenso wird derart sichergestellt, dass das mit ETCS mögliche, flüssigere Einfädeln durch geschickter gewählte Durchrutschwege über die vereinigende Weiche berücksichtigt wird.

Die Steigerung der Betriebsqualität resultiert aus einer Verkürzung von Mindestzugfolgezeiten, der Möglichkeit zum schnelleren Nachrücken an den Bahnsteigen und kapazitätssparenden Vorbelegung durch ATO. Die Verkürzung der Mindestzugfolgezeiten ist dabei jedoch nicht so ausgeprägt, dass diese ohne weiteres eine Erhöhung der Zuganzahl über 24 Trassen pro Stunde ermöglicht (vgl. Abschnitt 3.1.3.2). Unter Berücksichtigung der heute regelmäßig auftretenden Haltezeitüberschreitungen auf der Stammstrecke, die in der Simulation nur auf Grundlage der Standardwerte abgebildet werden, ist neben der Umsetzung von ETCS+ mit ATO auch eine weitere Optimierung des Gesamtsystems S-Bahn (inklusive Ausbauten im Umland und Anpassungen des Fahrplankonzepts) anzustreben.

Um die hier beschriebenen Effekte zu erzielen, sind die jeweils in den Szenarien beschriebenen Randbedingungen zu erfüllen. Die dazu notwendigen Maßnahmen werden nicht in diesem Kapitel dargestellt, sondern ihre Darstellung ist Gegenstand der einzelnen Hauptaufgaben.

Tabelle 54: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Betriebsanalyse

ID	Handlungsempfehlung	Prämisse	Verantwortlich
BA-1	Die zur Umsetzung des Szenarios ETCS+ notwendigen Maßnahmen werden gesondert in den jeweiligen Hauptaufgaben beschrieben. Auf eine redundante Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet.	---	---
BA-2	Zur Stabilisierung wird eine Absenkung auf 22 Züge in der RFE empfohlen	Für den Störungsfall (z. B. Ausfall der Systemkomponente ETCS / RBC) sollte eine betriebliche Vorgehensweise definiert werden, die von den Zügen zu befolgen ist (z. B. Ablauf T_NVCONTACT, manueller Wechsel nach Level NTC usw.).	
BA-3	Beauftragung Erstellung Gamma-Bremsmodell	Eindeutige Aufgabenstellung für die Untersuchung	VRS, DB Regio AG
BA-4	Planung bzgl. der Anhebung der Streckengeschwindigkeit in der Stammstrecke und Hasenbergtunnel		DB Netz AG
BA-5	Untersuchung und Festlegung der optimalen Blocklänge (30- vs. 55 m-Block)	Eingangsdaten zu Bremsmodell und ATO sind derart belastbar, dass die Vorteilhaftigkeit kurzer Blöcke nachgewiesen werden kann.	DB Netz AG

3.1.2 Methodik

Während der Untersuchung erfolgen kontinuierlich EBWU, um die bahnbetrieblichen Wirkungen der Systemkonfigurationen unmittelbar abschätzen zu können. Werkzeug zur Durchführung der Untersuchungen ist die Software LUKS. Insgesamt ergeben sich im Kontext der Betriebsanalyse für die InGe die folgenden Aufgaben:

- Entwicklung eines generischen Modells zur individuellen Bewertung von Maßnahmen

- Zusammenfassung abgeleiteter Maßnahmen in Szenarien
- Fahrplankonstruktionen und Betriebssimulationen gemäß Ril 405 zur Ermittlung von:
 - o Mindestzugfolgezeiten für Abschnitt S-Flughafen/Böblingen – Bad Cannstatt
 - o Mindestzugfolgezeiten für Abschnitt Schwabstraße – Zuffenhausen
 - o Mindestzugfolgezeiten explizit für die Stammstrecke
 - o Verspätungsentwicklung auf Abschnitt S-Flughafen/Böblingen – Bad Cannstatt
 - o Verspätungsentwicklung auf Abschnitt Schwabstraße – Zuffenhausen
- Bewertung der aktuellen Planung auf Grundlage von Entwürfen zur Ks-Signalisierung sowie zur bestehenden H/V-Signalisierung als Referenzwert
- Sensitivitätsanalysen zur Ermittlung von Konsequenzen aus z. B.:
 - o Streckengeschwindigkeitserhöhungen auf der Stammstrecke
 - o Wahl der ETCS-spezifischen Bremseinsatzpunkte
 - o Blocklänge entlang des Bahnsteigs – 30 vs. 55 m Block

Die als Grundlage der betrieblichen Analysen genutzten Eingangsdaten und Annahmen werden nachstehend dargelegt. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung der Szenarien, die im Nachgang miteinander verglichen werden. Untersucht wird zunächst der Nullfall (Entwurfsplanung zur Ks-Signalisierung auf der Stammstrecke sowie zur H/V-Signalisierung im erweiterten Betrachtungsraum), um einen Bezug zur bereits vorliegenden Untersuchung herzustellen. Betrachtet werden anschließend verschiedene Systemkonfigurationen von ETCS Level 2:

- ETCS Basis aufbauend auf aktuell verfügbaren Komponenten und Richtlinien sowie Entwurf des CR 953
- ETCS+ mit wahrscheinlich verfügbaren Technologieentwicklungen und Regelwerksanpassungen
- ATO-Light als fahrzeug- und infrastrukturseitiger Zusatzaufbau zu ETCS+

Darüber hinaus erfolgen Sensitivitätsanalysen, um beispielsweise Potenziale aus einer Streckengeschwindigkeitserhöhung auf der Stammstrecke oder der Wahl der ETCS-spezifischen Bremseinsatzpunkte zu quantifizieren. Resultate der Betriebsanalysen sind die Bewertung der ETCS-Szenarien im Vergleich zum Nullfall. Des Weiteren werden in den Sensitivitätsanalysen weitere Optimierungspotenziale aufgezeigt.

3.1.2.1 Betriebliche Eingangsdaten und Annahmen

Auf Grundlage eines Vergleiches der Mindestzugfolgezeiten und der erzielbaren Betriebsqualität zwischen Nullfall und ETCS Level 2 soll der bahnbetriebliche Nutzen von ETCS in verschiedenen Ausstattungsvarianten quantifiziert werden. Dazu wird eine EBWU unter Beachtung der Richtlinien 402 und 405 der DB Netz AG durchgeführt. Diese umfasst Fahrplankonstruktion und Betriebssimulation auf mikroskopischer Basis und wird komplementiert durch den Aufbau eines generischen Rechenmodells, isolierten Bewertungen und Auswahl von Maßnahmen für die Szenarien. Untersucht wurde das Modell in zwei Schritten. Im ersten Schritt umfasst der Betrachtungsraum lediglich die Stammstrecke und unmittelbar daran anschließende Streckenabschnitte zwischen Vaihingen, Bad Cannstatt und dem Nordbahnhof. Im zweiten Schritt wird der Betrachtungsraum im Süden bis zum Flughafen und Böblingen sowie im Norden bis Zuffenhausen erweitert, um den Nutzen von ETCS zur Stabilisierung der Zuläufe zu untersuchen.

Basis der betrieblichen Untersuchung zur Einführung von ETCS auf der Stammstrecke der Stuttgarter S-Bahn ist der Fahrplan gemäß „Szenario 3“ (24 Züge pro Stunde und Richtung) mit Mindesthaltezeiten von 30 Sekunden in allen Halten der Stammstrecke. Dieser Fahrplan wird auf einen durchgängigen 15-Minuten-Takt

aller Linien in HVZ und NVZ auf der Stammstrecke verdichtet, wie es ab dem Jahr 2020 vorgesehen ist. Es verbleiben damit keine „Puffertrassen“ mehr im Fahrplangefüge. Im südlichen erweiterten Betrachtungsraum werden die Takte der Linien S2 und S3 ab Stuttgart-Vaihingen auf einen Halbstundentakt reduziert, während der Takt bis zur Grenze des Betrachtungsraums in Böblingen unverändert bleibt. Neben den S-Bahnen verkehren zusätzlich Züge des Nah- und Fernverkehrs zwischen dem Flughafen, Vaihingen und Böblingen bei denen ebenfalls eine ETCS-Ausrüstung unterstellt wird. Weiterhin verkehren im selben Bereich vereinzelte Güterzüge ohne unterstellte ETCS-Ausrüstung.

Im Folgenden werden S-Bahnen der Linien S1, S2 und S3 aufgrund ihres längeren Laufweges über die Station Schwabstraße hinaus als „Langläufer“ und die S-Bahnen der Linien S4, S5 und S6, welche in der Wendeanlage Schwabstraße wenden, als „Kurzläufer“ bezeichnet. Die Kurzläufer lassen sich zusammenfassen, da Laufweg, Haltemuster und Fahrzeugeinsatz über den Betrachtungsraum hinweg identisch sind. Während der Hauptverkehrszeiten zwischen 6:30 und 9:00 Uhr sowie zwischen 16:00 und 20:00 Uhr verkehren alle Züge dreiteilig als „Langzug“ und in der Nebenverkehrszeit als zweiteilige „Vollzüge“. Langzüge müssen die gesamte Bahnsteiglänge ausnutzen, wohingegen Vollzüge mittig am Bahnsteig an der entsprechenden Haltetafel halten. Daraus resultieren unterschiedliche Mindestzugfolgezeiten.

Als Bremseinsatzpunkt, d. h. als Beginn der Annäherungsfahrzeit, wird der Schnittpunkt aus „Indication Curve“ und Soll-Trajektorie verwendet. In der Fahrplankonstruktion ist dringend die Prämisse der unbehinderten Fahrt auf „grüne Welle“ zu verfolgen, sodass der Beginn der Annäherungsfahrzeit zwingend der Indication Curve entspricht. In der Realität bieten die ETCS-Bremskurven auf der anderen Seite so viele Sicherheitsmargen bis zur automatischen Auslösung der Zwangsbremsung, dass mit Hinblick auf die Erhöhung der Leistungsfähigkeit die Triebfahrzeugführer zumindest im Bereich der Stammstrecke zu einer offensiveren Ausreizung dieser Kurven geschult werden sollten. Der Nutzen einer solchen Fahrweise wird in Kapitel 3.1.3.1.4.1 detailliert untersucht. In Analogie dazu werden die regulären 12 s Sichtzeit unter Außensignalisierung ohne ETCS in der Simulation auf drei Sekunden reduziert, da eine Einleitung der Bremsung 12 s vor dem Passieren des Vorsignals für eine hochbelastete Stammstrecke nicht realistisch ist. Mit dieser Annahme wird verhindert, dass ETCS im Vergleich zu Ks zu positiv bewertet wird.

3.1.2.2 Szenarien

Nachstehend werden die betrieblichen Eigenschaften der betrachteten Szenarien beschrieben.

Die Blockteilung der ETCS-Szenarien auf den Streckenabschnitten der Stammstrecke außerhalb der Haltebereiche entspricht der aktuellsten, in diesen Abschnitten regelkonformen, ETCS-Entwurfsplanung. In den Haltebereichen sieht die ETCS-Entwurfsplanung Blocklängen vor, welche weder mit dem BTSF noch mit dem CR 953 vereinbar sind, weshalb diese Bereiche abweichend geplant werden.

Auf eine Differenzierung von „Gefahrpunktabstand“ und „Durchrutschweg“ je nach Signalfunktion wird dabei verzichtet und konsequent der Begriff „Durchrutschweg“ („D-Weg“) genutzt. Ebenso wird zum besseren Verständnis unter Ein- und Ausfahrsignalen das erste Signal/Blockkennzeichen vor dem Bahnsteig bzw. das letzte Signal am Bahnsteig verstanden, auch wenn diese Signale formal Zwischensignale sind.

Auf den Einsatz der verschleißschonenden Guidance Curve wird zugunsten der Kapazität verzichtet. Eine streckenseitige Unterdrückung der Guidance Curve allein auf der Stammstrecke kann zu minimalen Diskrepanzen in der DMI-Darstellung im angrenzenden Netz führen, weil eine flachere Bremskurve zugrunde gelegt wird. Eine fahrzeugseitige Abschaltung wird aus Kapazitätsgründen dennoch empfohlen.

Da die notwendigen Bremsbeschleunigungen bei Einhaltung der Indication Curve unter der in EB-WU angenommenen, freien Bremsbeschleunigung von $0,7 \text{ m/s}^2$ liegen, sollte aus Gründen der Leistungsfähigkeit sichergestellt werden, dass bei Einfahrt in den Halt bereits eine (Teil-) Fahrstraße über diesen hinaus besteht,

um restriktionsfrei einfahren zu können. Hinter den Ausfahrsignalen sollte, wenn immer möglich, ein zusätzliches Blockkennzeichen im Abstand von bis zu 100 m geplant werden, damit das Ausfahrsignal schnellstmöglich wieder auf Fahrt gestellt werden kann. Somit kann garantiert werden, dass ein Zug bei seiner Zielbremseung auf den Halteplatz nicht von seiner maßgebenden ETCS-Bremskurve an der freien Bremsbeschleunigung gehindert wird (Befinden sich spitz befahrene Weichen hinter dem Ausfahrsignal, ist dieser Teilblock entsprechend länger auszuführen.) Die exakte Distanz sollte stationsspezifisch ermittelt werden.

3.1.2.2.1 Szenario „ETCS Basis“

Das Szenario ETCS Basis entspricht einer Ausrüstungsvariante gemäß geltender Regelwerke (Ausnahme CR 953) und konservativer Systemlaufzeiten und ist damit sowohl als Minimallösung definitiv umsetzbar als auch Aufwärtskompatibel zu ETCS+. Dieses Szenario ist während der Bearbeitung des ersten Schritts entwickelt worden und wird im zweiten Schritt zugunsten einer Vorentscheidung für ETCS+ nicht mehr weiterverfolgt. Entsprechend ist es in nachfolgenden Darstellungen für den zweiten Schritt auch nicht mehr enthalten.

ETCS Basis baut auf der Ks-Entwurfsplanung auf und wird ergänzt um zusätzliche Blockkennzeichen zwischen den Ein- und Ausfahrsignalen sowie den streckenseitig in der Entwurfsplanung ETCS vorgesehenen Blockverdichtungen. Aus kapazitiven Gründen sollten die ersten Blöcke hinter dem Einfahrsignal möglichst kurz gestaltet werden, jedoch müssen zur Erreichung dieses Ziels mehrere Restriktionen eingehalten werden. Zum einen dürfen in Durchrutschwegen keine (richtungsgleichen) Blockkennzeichen installiert werden, sodass bei den fixierten Durchrutschwegen der Ks-Signalisierung das erste Blockkennzeichen erst an der Position des Ausfahrsignals der Gegenrichtung stehen kann. Der Stationsbereich zwischen den Ausfahrsignalen in Fahrt- und Gegenrichtung beträgt in der Regel 220 m. In Abhängigkeit von der Streckengeschwindigkeit ergibt sich die minimale Blockteilung entlang des Bahnsteigs gemäß dem Arbeitsstand des CR 953. Die maßgebende Formel liefert für eine Streckengeschwindigkeit von 60 km/h eine minimale Blockteilung von 44 m, während unter der zu bevorzugenden Streckengeschwindigkeitserhöhung auf 80 km/h minimal 51 m Blocklänge möglich sind. Die gewählte Blockteilung entlang des Bahnsteigs beträgt 55 m, um kompatibel zu einer Erhöhung der Streckengeschwindigkeit zu sein. Sollte sich eine solche Erhöhung nicht als technisch möglich darstellen, kann die Blocklänge auf 44 m reduziert werden. Beide Blockteilungen erlauben eine gleichmäßige und ganzzahlige Unterteilung des Bahnsteigs. Der Vorteil einer Geschwindigkeitserhöhung wird in Abschnitt 3.1.3.1.4.1 analysiert. Für die minimale Blockteilung von 55 m ergibt sich gemäß BTSF 2.1 eine Release Speed von 15 km/h.

Von Bedeutung sind die Ks-Signale in dieser Variante nur noch in der Rückfallebene bei ETCS-Ausfällen.

3.1.2.2.2 Szenario „ETCS+“

Das Szenario ETCS+ baut auf dem Basisszenario auf und berücksichtigt realistisch bis zur Inbetriebnahme anzunehmende Technologieweiterentwicklungen in der Leit- und Sicherungstechnik (Reduktion der Fahrstraßenbilde- und -auflösezeit um jeweils eine Sekunde). Anstelle einer auf die Ks-Planung aufgesetzte Variante wird bei ETCS+ der Fokus auf eine ETCS-optimierte Signalplanung gesetzt, damit die Potenziale des Systems vollständig ausgenutzt werden können. Dies äußert sich insbesondere durch den Entfall der Ks-Einfahrsignale

auf der Stammstrecke zur Verkürzung des ersten Blocks vor dem Bahnsteig. Im erweiterten Betrachtungsraum ist ein Entfall der Einfahrtsignale nicht notwendig, da in diesen Bereichen DB Ril. 819.2010³ keine Anwendung findet. Somit ergibt sich für die Einfahrtsignale automatisch eine ausreichend große Distanz zum Bahnsteiganfang, dass ein zusätzlicher Teilblock vor letzterem geplant werden kann.

Die Gestaltungsmöglichkeiten in der Ks-Planung sind auf der Stammstrecke äußerst eingeschränkt, da der geringe verfügbare Bauraum und die Restriktionen aus den Oberleitungsanlagen nahezu keine Änderungen von Signalpositionen zulassen. Damit ist ein Verschieben der Einfahrtsignale auf die Strecke zur Verkürzung der Blöcke vor dem Bahnsteig durch zusätzliche Teilblöcke ausgeschlossen. Ebenso würde eine konsequente Verkürzung der Durchrutschwege unter Ks ohne ETCS auf 50 m ein Verschieben der Vorsignale bewirken. Dies ist wegen des fehlenden Bauraums im Tunnel oder wegen nicht ausreichender Vorsignaldistanzen meist nicht möglich. Um die Blockteilung am Bahnsteiganfang kapazitätsoptimiert gestalten zu können, ist ein Entfall der Ks-Einfahrtsignale daher vielversprechend. Zum einen kann so ein erstes Blockkennzeichen bei 80 km/h Streckengeschwindigkeit 51 m vor dem Bahnsteig platziert werden, damit ein nachfolgender Zug möglichst nah an den Bahnsteig herangeführt werden und dieser möglichst früh dem räumenden Zug folgen kann. Damit entfällt weiterhin der Dunkelschaltanstoß des Einfahrtsignals, der in den Systemlaufzeiten eine Sekunde ausmacht. Durch die Reduktion der Außenanlagen auf das Notwendigste, kann die Gefahr von Störungen an den Ks-Signalen und damit verbundenen Störungen des Gesamtsystems reduziert werden. Auf die Bedeutung der Einfahrtsignale für die Leistungsfähigkeit der Rückfallebene wird bei der Betrachtung der Mindestzugfolgezeiten eingegangen.

Von Bedeutung sind die Ks-Signale in dieser Variante nur noch in der Rückfallebene bei ETCS-Ausfällen. Dies bedeutet, dass mit Umstellung auf ETCS alle Züge umgerüstet sein müssen.

3.1.2.2.3 Szenario „ATO-Light“

Das Szenario ATO-Light ist aufwärtskompatibel zum Szenario ETCS+. Es beinhaltet neben den Verbesserungen aus Szenario ETCS+ insbesondere ATO gemäß GoA2. Der Nutzen der (teil-) automatisierten Zugsteuerung beruht im ungestörten Betrieb auf der Ausreizung der ETCS-Bremskurven, wodurch möglichst nah entlang der Emergency Brake Intervention (EBI) gebremst werden kann. Diese erfordert eine Einleitung der Bremsung erst rund 7 Sekunden später als bei Bremsung ab Indication. Diese Fahrweise kann durch einen Triebfahrzeugführer nicht erreicht werden, da bereits beim Überschreiten der Warning Curve akustische Warnmeldungen zu einer Reizüberflutung/Belastung dieser führen würde (vgl. Kapitel 3.1.3.1.4.1). Bei ETCS Level 2 resultiert der Beginn der Annäherungsfahrzeit aus dem Schnittpunkt der Indication Curve mit der Trajektorie des Zuges, weil der Triebfahrzeugführer nicht (fahr-)planmäßig die Indication angezeigt bekommen soll. Durch den Einsatz von ATO ist der Beginn der Annäherungsfahrzeit nicht mehr zwangsläufig durch die Indication Curve definiert, weil diese Restriktion für eine Maschine nicht gilt. Rückwärts gerechnet von der EBI muss bei ATO gewährleistet werden, dass die Bremsung nicht planmäßig eingeleitet wird. Zuvor liegt eine kurze ATO-Verarbeitungszeit welche den Bremseinsatz berechnet. Demzufolge muss die Annäherungszeit um den Betrag der Bremsaufbauzeit und einer ATO-Verarbeitungszeit vor der EBI liegen. Als Bremsaufbauzeit wird die Zwangsbremsaufbauzeit nach Conversion Model angenommen sowie eine Verarbeitungszeit von einer Sekunde. Im Vergleich zum Lokführer entfällt damit der Zeitanteil T_DRIVER zwei Mal und der Zeitanteil „Verarbeitungszeit“ kommt hinzu. In Summe werden durch ATO damit sieben Sekunden Annäherungsfahr-

³ Ergänzung zur Ril. 819, welche den speziellen Anforderungen von definierten S-Bahn-Stammstrecken gerecht wird.

zeit eingespart. Die weitere Verkürzung folgt aus dem präzisen Abfahren der Soll-Trajektorie unter ATO, welche die Notwendigkeit eines Regelzuschlags zur Kompensation von Streuungen in der IST-Trajektorie reduziert. Unter ATO wird die mögliche Bremsbeschleunigung weiterhin bei $0,7 \text{ m/s}^2$ gedeckelt.

Ein weiterer Vorteil von ATO ist die kürzere Reaktionszeit bei Verlängerung einer MA, sodass angenommen wird, dass ein ATO-geführter Zug bereits nach einer Sekunde wieder beschleunigt, während ein konventionell vom Triebfahrzeugführer gefahrener Zug erst nach drei Sekunden Reaktionszeit wieder die Beschleunigung aufnehmen kann.

Der Regelzuschlag wird heute berücksichtigt, um witterungsbedingte, triebfahrzeugführer- und fahrzeugseitige Einflüsse zu kompensieren. Im Rahmen der Herstellertermine konnte eindrücklich anhand von Messreihen belegt werden, dass sich Triebfahrzeugführer während Beschleunigung und Bremsung häufig weit entfernt von der Soll-Trajektorie bewegen, während diese durch ATO nahezu perfekt abgefahren wird. In Bereichen mit häufigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen und aufgrund der Tunnellage vernachlässigbaren Witterungsbedingungen wird aufgrund fehlender Richtlinien angenommen, dass der Regelzuschlag von drei auf ein Prozent reduziert werden kann, um den Unterschied zwischen den Fahrverhalten abzubilden.

3.1.2.3 Prämissen und Randbedingungen

Langläufer werden mit der Baureihe 430 und 157 Bremshundertsteln (Brh) und Kurzläufer mit Baureihe 423 und 142 Brh gefahren. Die ETCS-Bremskurven werden gemäß Conversion Model des Lambda-Modells berechnet. Grundsätzlich ist die Erstellung eines Gamma-Modells für die eingesetzten Züge anzustreben (vgl. Abschnitt 3.1.3.3). In allen Szenarien wird grundsätzlich die heute gültige Streckenhöchstgeschwindigkeit ohne potenzielle Geschwindigkeitserhöhungen angewandt. Des Weiteren wird in sämtlichen Szenarien eine übliche freie Bremsbeschleunigung von $0,7 \text{ m/s}^2$ angenommen, sofern keine ETCS-Überwachungskurve diese limitiert.

In Tabelle 55 werden die Systemzeiten der einzelnen Szenarien zusammengefasst, wie sie sich aus den Herstellerbefragungen ergeben haben. Die Diskussion der Werte erfolgt im Kapitel Laufzeiten (Kapitel 3.1.3.3). In der Simulation werden systembedingt die sechs letzten Komponenten in einer Variablen zusammengefasst und ganzahlig Zahl aufgerundet.

Tabelle 55: Eingangsdaten der Systemzeiten der Szenarien

	Ks	ETCS Basis	ETCS+/ATO-Light
Fahrstraßenauflösezeit	3,0 s	3,0 s	2,0 s
Fahrstraßenbildezeit ohne Weichen	8,0 s	8,0 s	7,0 s
Fahrstraßenbildezeit mit einer Weiche	13,0 s	13,0 s	12,0 s
Verarbeitung Dunkelschaltanstoß vor Teilblöcken	n/a	1,0 s	1,0 s
Übertragung Signalbegriff vom ESTW zum RBC	n/a	0,5 s	0,5 s

	Ks	ETCS Basis	ETCS+/ATO-Light
Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen	n/a	(8 s) ⁴	-
Erzeugung MA	n/a	0,5 s	0,5 s
GSM-R-Übertragung	n/a	0,8 s	0,8 s
SCI-RBC-Laufzeitverzögerung	n/a	1,0 s	1,0 s
OBU-Verarbeitung und Anzeige	n/a	1,5 s	1,5 s

Der Stellanstoß zur Bildung der Fahrstraße erfolgt streckenseitig und ist nicht sperrzeitenrelevant, da diese nur gebildet wird, wenn zuvor alle Bedingungen erfüllt sind. Andernfalls wird der Stellanstoß gespeichert und ausgeführt sobald die notwendigen Belegungselemente freigefahren sind. Gegebenenfalls wird die Fahrstraße früher eingestellt als notwendig, da sich die Züge auf der Stammstrecke jedoch nur folgen können, wird durch eine frühzeitige Einstellung der Fahrstraße keine Kapazität blockiert. An Abzweigen fädeln sich die Züge so nach dem First-come-first-serve-Prinzip ein.

Eine zusätzliche Verzögerungszeit SCI-RBC an Stellrechnergrenzen wird in keinem Szenario unterstellt, da auf Regelfahrwegen keine Stellrechnergrenzen liegen sollten. In einer potenziellen Ausschreibung von ETCS sollte aus Kapazitätsgründen eine grundsätzliche Wartezeit für Weichenlagemeldungen an der SCI-RBC Schnittstelle untersagt werden, sofern diese nicht aufgrund mehrerer Stellrechner notwendig wird (vgl. Abschnitt 2.1.3.8).

Fahrstraßenbildezeiten inklusive Weichen werden nur für Fahrstraßen angewandt, in denen Weichen im Regelbetrieb umlaufen. Da sowohl in der Fahrplankonstruktion als auch in der Simulation Überleitverbindungen nicht genutzt werden, gelten für Fahrstraßen über diese auch nur die Fahrstraßenbildezeiten ohne Weichen.

Fahrstraßenbildezeiten inklusive Weichen werden nur für Fahrstraßen angewandt, in denen Weichen im Regelbetrieb umlaufen. Da sowohl in der Fahrplankonstruktion als auch in der Simulation Überleitverbindungen nicht genutzt werden, gelten für Fahrstraßen über diese auch nur die Fahrstraßenbildezeiten ohne Weichen.

Fahrzeugseitig wird für die Aufwärtskompatibilität zu einer ATO-Implementierung ETCS gemäß der aktuellsten SRS 3.6.0 angenommen. Dadurch wird im Vergleich zur SRS 3.4.0 eine Reaktionszeit des Triebfahrzeugführers von vier Sekunden zwischen „Indication“ und „Permitted“ unterstellt, sodass sämtliche Untersuchungen zur sicheren Seite erfolgen (vgl. Abschnitt 3.1.3.1.4.1).

⁴ Verzögerungszeit SCI-RBC in Szenario ETCS-Basis grundsätzlich noch vorhanden. Projektierung sollte jedoch keine Regelfahrwege über Stellrechnergrenzen vorsehen, sodass die Verzögerungszeit nicht relevant ist.

3.1.2.4 Einbruchverspätungen und Haltezeitverlängerungen

In der Simulation werden Haltezeitüberschreitungen gemäß Ril 405 (siehe Tabelle 56) für hohe Verspätungsniveaus in Abstimmung mit der DB Netz AG verwendet. Im Mittel werden drei Sekunden Haltezeitverlängerung pro Halt eingestreut. Dies ist für die Stammstrecke der S-Bahn Stuttgart erfahrungsgemäß recht wenig, jedoch stehen keine belastbaren Messungen zu Primärverspätungen während des Halts zur Verfügung. Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse muss dies berücksichtigt werden. Diese sind damit tendenziell über alle Szenarien weg eher zu positiv gerechnet.

Tabelle 56: Haltezeitverlängerungen gemäß Ril 405 - hohe Verspätungsniveaus

Verkehrsart	Anteil verspätete Züge	Mittlere Verspätung pro verspäteter Zug
SPFV	10 %	2 min
SPNV	10 %	1 min
S-Bahn	10 %	0,5 min
SGV	10 %	5 min

Für die Einbruchsverspätungen wurde vom Auftraggeber der Zeitraum 1. Juni – 30. September 2017 gewählt (siehe Tabelle 57), welche entsprechend als Einbruchsverspätung in den Betrachtungsraum eingestreut werden.

Tabelle 57: Einbruchverspätungen je Linie und Richtung

Fahrtrichtung Norden				Fahrtrichtung Süden		
Linie	Betriebsstelle	Anteil versp. Züge	Mittlere Ver-spätung pro versp. Zug	Betriebsstelle	Anteil versp. Züge	Mittlere Ver-spätung pro versp. Zug
S1	Böblingen	58,4 %	1,54 min	Bad Cannstatt	75,9 %	1,18 min
S2	Neuhausen	umlaufverknüpft		Bad Cannstatt	88,1 %	1,32 min
S3	Flughafen	umlaufverknüpft		Bad Cannstatt	88,9 %	1,39 min
S4	Schwabstraße	umlaufverknüpft		Zuffenhausen	91,2 %	0,83 min
S5	Schwabstraße	umlaufverknüpft		Zuffenhausen	92,2 %	0,88 min
S6	Schwabstraße	umlaufverknüpft		Zuffenhausen	65,6 %	0,70 min

Durch die Erweiterung des Betrachtungsraums haben sich die Verspätungen, welche auf einbrechende Züge angewandt werden, wesentlich geändert. Diese Veränderung beruht auf zwei Effekten:

Zum einen brechen durch die Erweiterung des Betrachtungsraums wesentlich weniger S-Bahnen ein, weil nun ein Großteil der S-Bahnen im Betrachtungsraum wendet. Bei wendenden Zügen werden im Vergleich zu einbrechenden Zügen keine Einbruchsverspätungen eingestreut, sondern die Verspätungen aus der vorherigen Fahrt, abzüglich der Haltezeitreserven, auf die startende Zugfahrt übertragen. Liegen die Wenden im Betrachtungsraum, erhöht sich die Güte der Simulation, weil die Verspätungen während eines Fahrzeugumlaufs übertragen werden. Brechen die Züge hingegen aus, kann die Verspätung nicht auf die Folgezugfahrt übertragen werden, weil ein Teil des Zuglaufs außerhalb des Betrachtungsraums liegt. In diesem konkreten Fall brechen die Züge im ersten Schritt in allen Szenarien immer mit den gleichen Verspätungen ein, während sich im zweiten Schritt durch Umlaufverknüpfungen das Verspätungsniveau fortpflanzt. Diese Verknüpfungen vergrößern den Nutzen der ETCS Szenarien nochmals, weil die Züge nicht nur Verspätung abbauen, sondern folglich auch noch pünktlicher starten. Einbruchsverspätungen werden in Schritt 2 in Böblingen, Bad Cannstatt und Zuffenhausen herangezogen. In Schwabstraße, Vaihingen, Flughafen und Neuhausen werden Verspätungen per Verknüpfung übertragen.

Zum anderen fallen die Einbruchsverspätungen im Nordzulauf durch die Erweiterung des Betrachtungsraums wesentlich geringer aus. Bei den Einbruchsverspätungen handelt es sich um gemessene Daten, welche für den Querschnitt Nordbahnhof eine durchschnittliche Verspätung einbrechender Züge von 129 Sekunden und für den in Schritt 2 gewählten Querschnitt Zuffenhausen 41 Sekunden bedeuten. In Summe folgt aus beiden Effekten ein wesentlich geringeres Verspätungsniveau im zweiten Schritt für die vergleichbaren Szenarios Nullfall (Ks/HV-Signalisierung) und ETCS+.

3.1.2.5 Abgleich mit Simulation bei I.NMF 34

Parallel zu den Simulationen durch VIA-Con hat I.NMF 34 während des ersten Schritts Vergleichssimulationen zu den Szenarien Ks ohne ETCS und ETCS-Basis vorgenommen, um die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zu validieren. Trotz teils abweichender Eingangsparameter aufgrund unterschiedlicher Erhebungszeiträume für die Einbruchsverspätungen konnte der erhebliche Nutzen von ETCS ebenfalls nachgewiesen werden.

In der Regel weichen die Mindestzugfolgezeiten in beiden Modellen nur gering voneinander ab. Weil bei I.NMF 34 für Fahrstraßen, die eine im Regelbetrieb nicht genutzte Überleitverbindung beinhalten, Fahrstraßenbildezeiten mit Weichenumstellung unterstellt werden, variieren die Mindestzugfolgezeiten in einzelnen Fällen jedoch um zusätzliche fünf Sekunden für den Weichenumlauf. Die nachstehenden Tabellen fassen die Vergleichswerte zusammen:

Tabelle 58: Vergleich der Mindestzugfolgezeiten der Simulationsmodelle in Fahrtrichtung Norden

Fahrtrichtung Norden	Verkehrszeit	Ks [min]	ETCS Basis [min]	ETCS+ [min]
Mittlere Mindestzugfolgezeit	HVZ	2:17	2:09	2:06
Mittlere MZFZ (I.NMF 34)	HVZ	2:23	2:05	n/a

Tabelle 59: Vergleich der Simulationsmodelle in Fahrtrichtung Süden

Fahrtrichtung Süden	Verkehrszeit	Ks [min]	ETCS Basis [min]	ETCS+ [min]
Mittlere Mindestzugfolgezeit	HVZ	2:22	2:05	2:03
Mittlere MZFZ (I.NMF 34)	HVZ	2:19	2:07	n/a

I.NMF 34 bestätigt die Ergebnisse des zweiten Schritts und empfiehlt ETCS+ mit ATO-Light weiter zu verfolgen:

Die DB Netz AG (OE, Fahrwegkapazität und EBWU) bestätigt die Untersuchungsergebnisse

- ETCS+ mit ATO-Light sollte weiterverfolgt werden
- Die Untersuchung des Auftragnehmers berücksichtigt die **anerkannten Regeln der Technik** (insbesondere Richtlinie 405 Fahrwegkapazität) und lässt sich fachlich nachvollziehen.
 Das eingesetzte **Verfahren LUKS** (Leistungsuntersuchung Knoten und Strecken) wird auch bei der DB Netz AG bei Fahrwegkapazitätsberechnungen angewendet und ist vom **Eisenbahn-Bundesamt** für gesetzliche Verfahren nach §§ 11 und 18 AEG **anerkannt**.
- I.NMF 34 kann durch eigene eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) mithilfe von Betriebssimulationen mit dem Verfahren **RailSys** bestätigen, dass sich die **Betriebsqualität durch ETCS+ ggü. H/V bzw. Ks deutlich verbessert**, wobei die Effekte von I.NMF 34 leicht geringer sind.
 - Wird **ETCS+ auf den gesamten Untersuchungsraum** ausgeweitet, so reduzieren sich auch die Folgeverspätungen außerhalb der Stammstrecke, was den **Betrieb zusätzlich stabilisiert**.
 - Die **praktische Leistungsfähigkeit der Stammstrecke** der S-Bahn Stuttgart verbessert sich mit ETCS+ ebenfalls erheblich: Während mit H/V bzw. Ks der heutige **2,5-Minuten-Takt** nicht mehr ausgedehnt werden kann, ist mit ETCS+ **eine Ausweitung auf den ganzen Tag** problemlos möglich.
 Eine **Verdichtung auf einen 2-Minuten-Takt in der HVZ** erscheint **mit ETCS+ und ATO-Light** aufgrund reduzierter Mindestzugfolgezeiten grundsätzlich möglich zu sein. Hierfür sind weitere Betriebssimulationen erforderlich.

Abbildung 68: Folie I.NMF 34 für Ergebnispräsentation Schritt 2

3.1.2.6 Unterschiede der Modelle

Bei I.NMF 34 wurde auf Basis des Gesamtmodells der S-Bahn Stuttgart die Stammstrecke in den Grenzen des Betrachtungsraums ausgewertet. Dieses Modell und die Einbruchsverspätungen sind kalibriert worden, weshalb eine Änderung der Einbruchsverspätungen für den Bereich der Stammstrecke nicht ohne weiteres möglich ist. VIA-Con hingegen wird beauftragt, die Studie mit aktuelleren Einbruchsverspätungen durchzuführen. Diese sind über mehrere Monate im Jahr 2016 erhoben und zu Beginn der Studie durch I.NMF 34 übergeben worden. Diese unterschiedlichen Zeiträume der Verspätungsanalysen führen dazu, dass die Einbruchsverspätungen in den Betrachtungsraum stark voneinander abweichen (vgl. Abbildung 68).

Insbesondere die Verspätung beim Einbruch aus Richtung Nordbahnhof ist bei der Simulation dieser Machbarkeitsstudie wesentlich höher. Dies führt dazu, dass die Kurzläufer im Mittel parallel mit den Langläufern aus Bad Cannstatt in der Mittnachtstraße eintreffen und die Simulation im Rahmen der Konfliktlösung die Langläufer priorisiert. Unabhängig vom Zugsicherungssystem entstehen demzufolge beim Einfädelungsvorgang hohe Sekundärverspätungen, die allein von den Verspätungsniveaus der Zulaufstrecken abhängig sind. Aufgrund der geringeren Mindestzugfolgezeiten unter ETCS, können die Auswirkungen jedoch im Vergleich zu Ks erheblich reduziert werden.

Bei den Simulationen von I.NMF 34 verlaufen die Einfädelungsvorgänge flüssiger, da die Verteilung der Einbruchsverspätungen geringer und homogener ist. Die Verwendung unterschiedlicher Einbruchsverspätungen ist zugleich Chance, um den Nutzen von ETCS unter divergierenden Rahmenbedingungen aufzuzeigen.

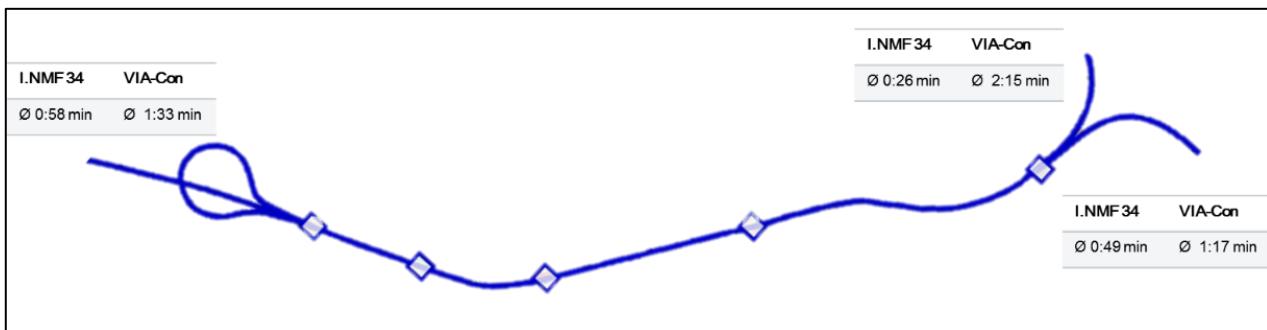


Abbildung 69: Einbruchsverspätungen bei I.NMF 34 und VIA-Con

Weiterhin wird in dieser Machbarkeitsstudie der zukünftige 15-Minuten-Takt über den gesamten Tagesgang untersucht, während bei I.NMF 34 lediglich in der HVZ zwischen 6:30 und 9:00 Uhr sowie zwischen 16:00 und 19:00 Uhr ein 15-Minuten-Takt gefahren wird. Dies führt insbesondere dazu, dass der Fahrplan keine Erholungsphasen oder Puffertrassen mehr aufweist, welche der Senkung des Verspätungsniveaus dienen. Ebenso ist die Höhe und Verteilung der Fahrzeitüberschüsse in beiden Modellen unterschiedlich, da sich der zugrundeliegende Fahrplan leicht unterscheidet.

3.1.2.7 Aussagen der Simulationen

Obwohl beide Simulationen unterschiedlichen Rahmenbedingungen unterliegen (insb. unterschiedliche Einbruchsverspätungen), weisen sie beide bereits ab der ETCS-Basisvariante einen signifikanten Nutzen aus. Der Hochleistungsblock minimiert durch kurze Mindestzugfolgezeiten und früheres Nachrücken bei Haltezeitüberschreitungen die Folgeverspätungen erheblich, sodass im Fahrplangefüge ausreichend Puffer zwischen den Trassen generiert werden können, um die Haltezeiten um einige Sekunden zu verlängern. Diese wiederum stabilisieren die Betriebsqualität, indem die Robustheit gegenüber Haltezeitüberschreitungen zunimmt.

3.1.3 Detailbeschreibung

Im Folgenden werden die bereits beschriebenen Untersuchungsergebnisse detailliert hergeleitet, analysiert und interpretiert.

3.1.3.1 Untersuchungsergebnisse

Die mittels EBWU erzielten Ergebnisse werden differenziert nach Mindestzugfolgezeiten, theoretischer Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität dargestellt.

3.1.3.1.1 Resultierende Mindestzugfolgezeiten

Mittels Mindestzugfolgezeiten der unterschiedlichen Zugsicherungssysteme und Ausprägungen wird der Nutzen von möglichen Blockoptimierungen unter ETCS analysiert. Da bei einem Zweieinhalf-Minuten-Takt nur wenig Pufferzeit zwischen den Trassen zur Verfügung stehen kann, ist jede Sekunde, die gewonnen werden kann, von großem Nutzen, weil sie unmittelbar zur Reduktion der Verspätungsübertragung genutzt werden kann. Ziel der Optimierung der Mindestzugfolgezeiten ist eine Harmonisierung auf einen Wert von 120 Sekunden im Zulauf auf die Stammstrecke. Damit sind diese bereits für eventuelle Verlängerungen von Linien vorbereitet.

Zunächst werden die Mindestzugfolgezeiten unter Ks ohne ETCS als Bezugsfall bestimmt und analysiert sowie anschließend mit den ETCS-Szenarien verglichen. Im Zuge dessen erfolgen auch Plausibilisierungen einzelner Kennzahlen.

Dargestellt sind die Mindestzugfolgezeiten für dreiteilige Langzüge mit Einfahrt auf geschlossenes Ausfahrtsignal in den Stationen. Dies führt zu geringeren Mindestzugfolgezeiten, weil die folgenden Blöcke noch nicht vorbelegt werden müssen. Im Betrieb und damit auch der Simulation hingegen soll, wenn immer möglich, auf offenes Ausfahrtsignal eingefahren werden. Die Mindestzugfolgezeiten werden lediglich mit Regelzuschlägen gerechnet.

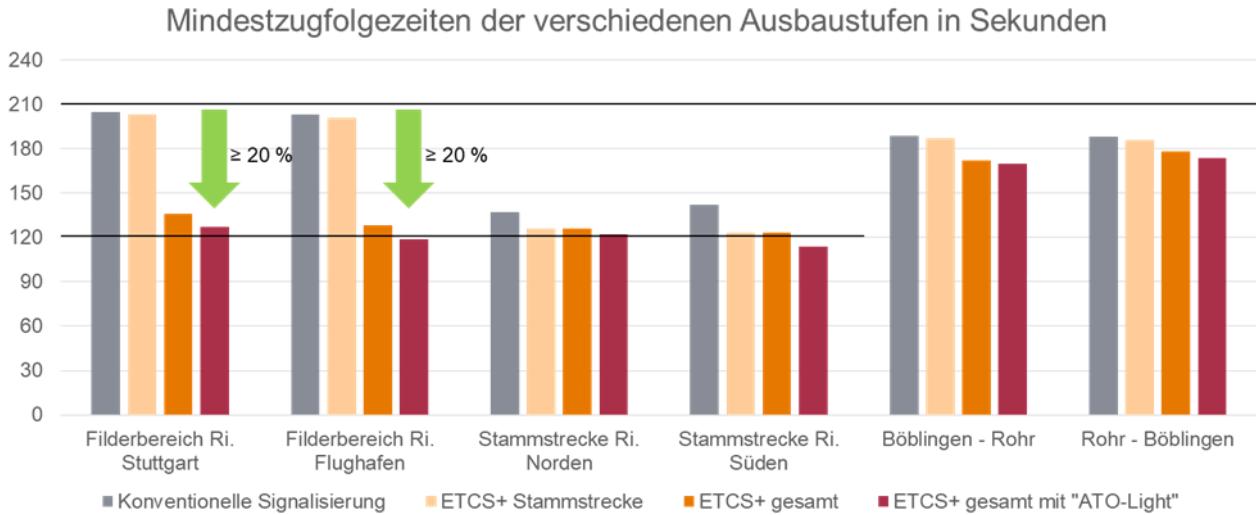


Abbildung 70: Durchschnittliche Mindestzugfolgezeiten der untersuchten Szenarien

Abbildung 70 vergleicht die erreichbaren Mindestzugfolgezeiten je Szenario. Während auf der Stammstrecke durch eine im Rahmen der DB Ril. 819.2010 (für reine S-Bahn-Stammstrecken) ausgereizte Ks-Signalisierung bereits vergleichbar kurze Mindestzugfolgezeiten ermöglicht, führt die Signalisierung auf Grundlage einer nicht ausgereizten Blockteilung auf Basis der DB Ril. 819 zu rund 60 Sekunden längeren Mindestzugfolgezeiten. Trotz optimierter Ks-Planung auf der Stammstrecke kann mit ETCS+ die Mindestzugfolgezeit nochmals um 8 bzw. 13 % reduziert werden. Außerhalb der Stammstrecke bzw. des Anwendungsgebiets der DB Ril. 819.2010 ist der Nutzen von ETCS in Hinblick auf die Mindestzugfolgezeiten wesentlich größer, sodass die Mindestzugfolgezeiten im Filderbereich im Mittel um rund 35 % reduziert werden können. Im Filderbereich liegen weitere Potentiale für eine weitere Verkürzung der Mindestzugfolgezeit bei Bedarf. Dazu wäre die elektrische Schaltabschnittsgrenze in Leinfelden in Fahrtrichtung Rohrer Kurve anzupassen, um einen zusätzlichen Teilblock am Anfang des Bahnsteigs zu ermöglichen.

Der Streckenabschnitt Böblingen – Rohr kann hingegen nur geringfügig durch ETCS optimiert werden, da der maßgebende Block der Mindestzugfolgezeit in Goldberg außerhalb des ETCS-Bereichs liegt und damit nicht optimiert werden kann. In diesem Abschnitt beschränken sich die Verkürzungen auf fünf bzw. neun Prozent. Zur Herstellung einer Mindestzugfolgezeit in der Größenordnung von zwei Minuten ist eine ETCS Ausrüstung bis einschließlich des Bahnhofs Herrenberg notwendig, da dieses Ziel mit konventioneller Signalisierung nicht erreichbar ist.

ATO-Light auf ETCS+ reduziert die Mindestzugfolgezeit homogen um rund 10 Sekunden im Filderbereich und auf der Stammstrecke. Im Vergleich zu ETCS+ ohne ATO kann die Mindestzugfolgezeit nochmals um bis zu neun Prozent gesenkt werden. In Summe lässt sich mit ATO-Light und ETCS+ die Mindestzugfolgezeit gegenüber dem Nullfall um bis zu 41 % im Filderbereich senken.

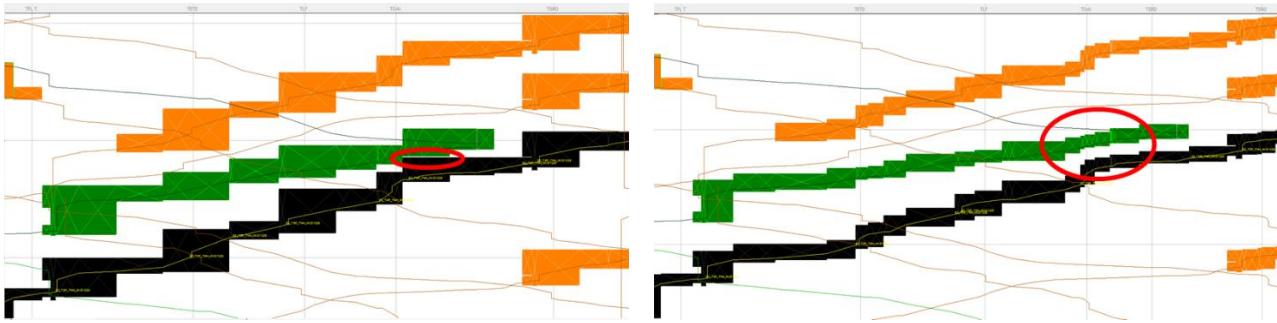


Abbildung 71: Auswirkung geringerer Mindestzugfolgezeiten im Fahrplan (Konventionelle Signalisierung und ETCS+)

Abbildung 71 zeigt den Nutzen geringerer Mindestzugfolgezeiten im Fahrplan am Beispiel des Streckenabschnitts Rohr – Flughafen. Beiden Screenshots liegt der gleiche Fahrplan zugrunde. Im linken Screenshot ist die Strecke mit konventioneller Signalisierung ausgestattet während im rechten Screenshot die Strecke mittels ETCS+ optimiert wurde. In diesem konkreten Fall kann durch ETCS+ die Pufferzeit (rot umrahmt) zwischen einem MEX und einer folgenden S-Bahn von vier auf 57 Sekunden erhöht werden.

Ferner erlauben die kürzeren Mindestzugfolgezeiten ab ETCS+ streckenseitig eine Verlängerung von einer bzw. somit allen S-Bahn-Linien über die Schwabstraße hinaus bis Vaihingen. Gegenstand der Untersuchung war jedoch ein Fahrplan ohne eine solche Verlängerung, sodass ein verdichteter Fahrplan zwischen Schabstraße und Vaihingen folglich nicht simuliert worden ist. Ebenso ist die notwendige Leistungsfähigkeit der Wendeanlage Vaihingen in dieser Studie nicht explizit untersucht worden. Bei einer geplanten Verlängerung eines Kurzläufers sollte der Bahnhof Stuttgart-Vaihingen und insbesondere die dortige Wendeanlage nochmals mikroskopisch untersucht werden.

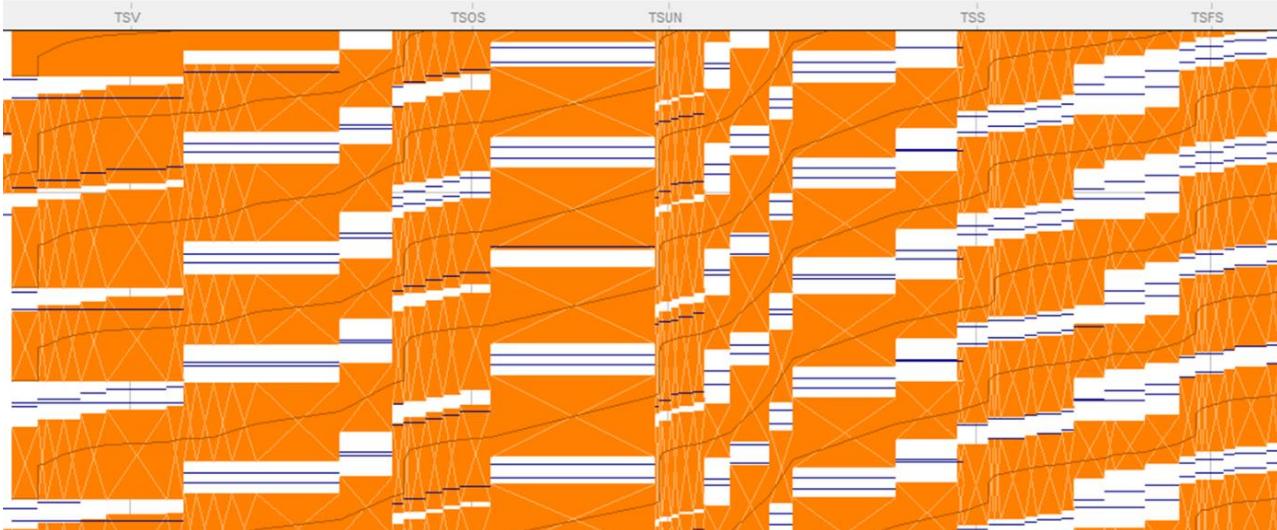


Abbildung 72: Sperrzeitentreppe zwischen Schwabstraße und Vaihingen

Abbildung 72 zeigt den Fahrplan zwischen Schwabstraße und Vaihingen mit 24 Trassen pro Stunde. Es ist ersichtlich, dass es für die Streckenausrüstung unerheblich ist, ob eine oder alle drei Linien nach Vaihingen verlängert werden, da aufgrund der gleichmäßigen Taktung die im Fahrplan verfügbare Kapazität zwischen allen Langläufern identisch ist.

3.1.3.1.1.1 Ks/HV-Signalisierung ohne ETCS

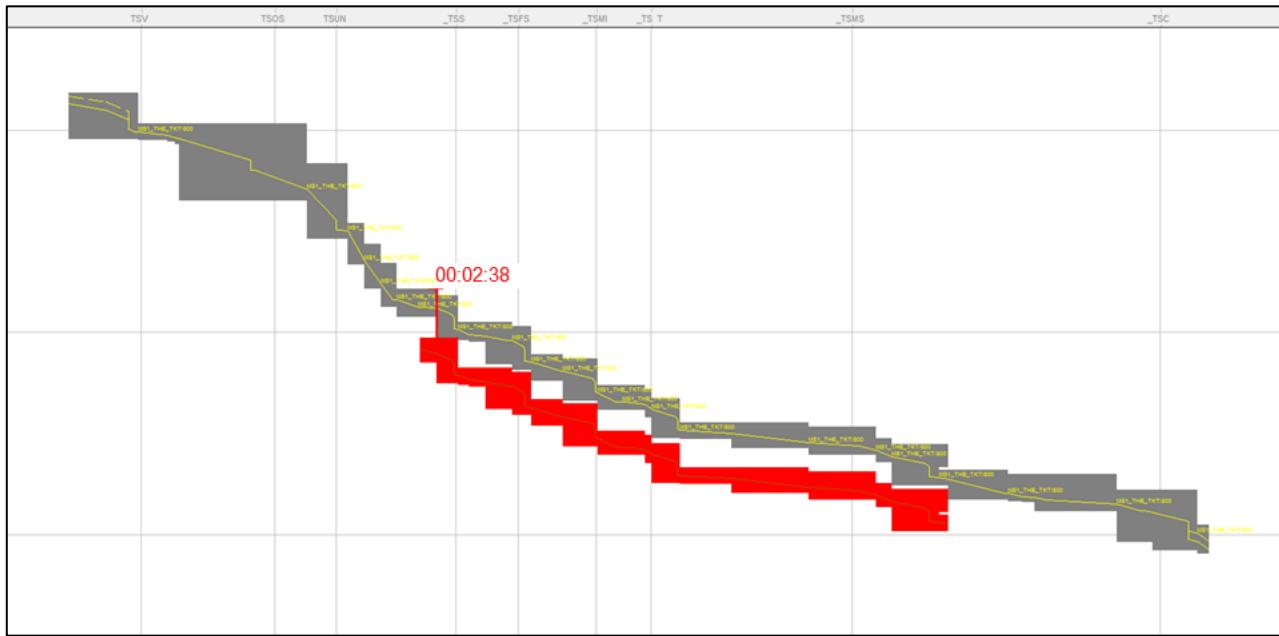


Abbildung 73: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße unter Ks-Signalisierung

Unter Annahme der aktuellen Ks-Entwurfsplanung ergibt sich, wie in Abbildung 73 dargestellt, für den Zugfolgefalle eines Langläufers der Linien S1/S2/S3 gefolgt von einem Kurzläufer der Linien S4/S5/S6 eine Mindestzugfolgezeit von 2:38 min (vgl. Abbildung 73) auf der Stammstrecke. Für den umgekehrten Zugfolgefalle ergibt sich eine Mindestzugfolgezeit von 1:56 min. Dies ist darin begründet, dass die Langläufer durch die Annäherung mit Streckengeschwindigkeit eine höhere Annäherungsfahrzeit haben als die Kurzläufer, die lediglich die Abfertigungszeit von 12 s als Annäherungsfahrzeit aufweisen. Da der maßgebende Block der Halt in Stuttgart Schwabstraße liegt, hilft eine Blockoptimierung effektiv nicht weiter, da zwar durch die Reduktion der Annäherungsfahrzeit die Mindestzugfolgezeit gesenkt werden könnte, jedoch ist die Trajektorie und damit der maßgebende Block der Züge durch genannten Halt determiniert. Im Mittel ergibt sich ein Puffer von 13 s über beide Zugfolgefälle.

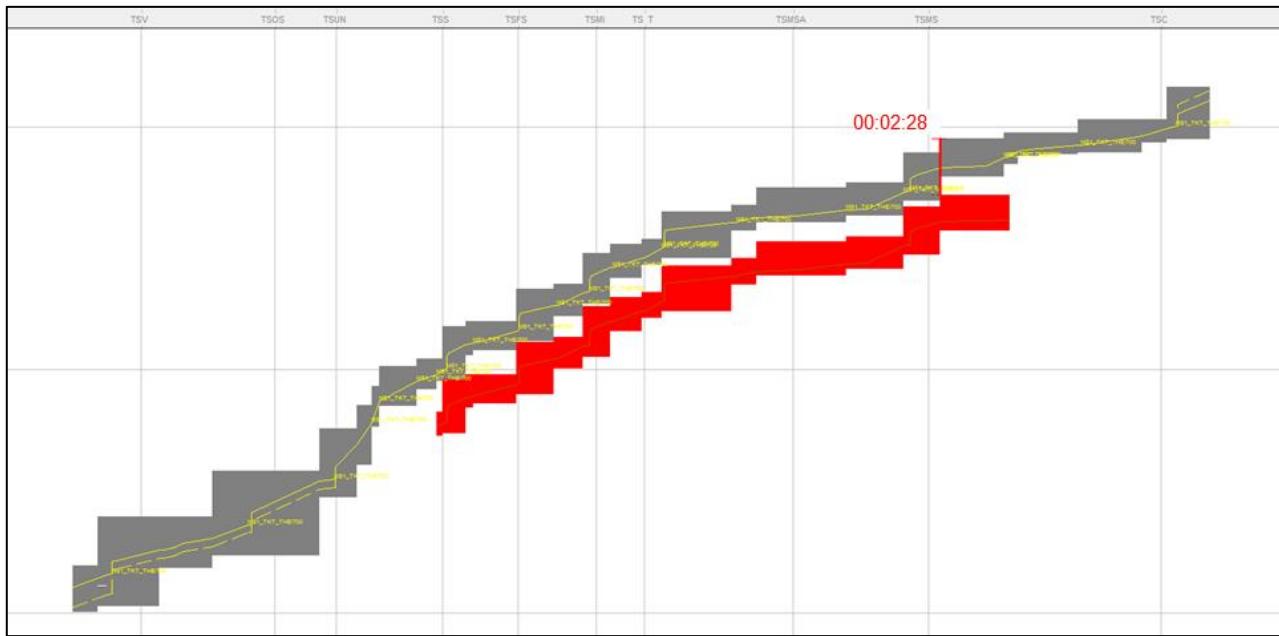


Abbildung 74: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße unter Ks-Signalisierung

In der Gegenrichtung sind die Sperrzeiten der Lang- und Kurzläufer homogener, sodass sich eine ähnliche Mindestzugfolgezeit für beide Folgefälle ergibt. Dies ist darin begründet, dass sich beide Züge mit identischer Geschwindigkeit auf dem ersten gemeinsamen Block annähern und die maßgebenden Signale nahezu im gleichen Abstand zu diesem stehen. Im Fall Kurzläufer folgt Langläufer beträgt die Mindestzugfolgezeit 2:28 bzw. 2:15 min für den entgegengesetzten Fall (siehe Abbildung 74).

Wird der Fokus auf den erweiterten Betrachtungsraum erweitert, fällt auf, dass die Mindestzugfolgezeiten dort wesentlich größer sind (vgl. Tabelle 61 und Tabelle 60). Weil es sich hierbei um Mischverkehrsstrecken handelt kann DB Ril. 819.2010 nicht angewendet werden, sodass größere Vorsignaldistanzen vorliegen. Resultat daraus ist zum einen eine längere Annäherungsfahrzeit sowie eine größere Blockteilung, die zu einer längeren Fahrzeit im jeweiligen Block führt. Das aktuelle Regelwerk bietet für konventionelle Signalisierung keinen ausreichenden Hebel, um die Mindestzugfolgezeiten signifikant zu senken. Relativ hohe Mindestzugfolgezeiten treten im Filderbereich auf, da dort nicht alle Haltepunkte mit Ein- und Ausfahrsignalen ausgestattet sind.

Tabelle 60: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter konventioneller Signalisierung

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	3:09 ¹	3:35 ¹	3:35 ¹	2:38 ⁴	1 Österfeld
S2	2:42 ¹	3:25 ²	3:25 ²	2:38 ⁴	2 Oberaichen
S3	2:42 ¹	3:25 ²	3:25 ²	2:38 ⁴	3 Schwabstraße
S4/S5/S6	1:56 ⁴	1:56 ⁴	1:56 ⁴		4 Feuersee 5 Böblingen 6 Rohr 7 Leinfelden

Die Mindestzugfolgezeiten in die Gegenrichtung bewegen sich in einer ähnlichen Größenordnung.

Tabelle 61: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter konventioneller Signalisierung

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	3:08 ¹	3:08 ¹	3:08 ¹	2:28 ³	1 Österfeld 2 Echterdingen 3 Schwabstraße
S2	3:08 ¹	3:32 ²	3:23 ²	2:28 ³	
S3	3:08 ¹	3:32 ²	3:32 ²	2:28 ³	
S4/S5/S6	2:15 ³	2:15 ³	2:15 ³		

3.1.3.1.1.2 ETCS Basis

Der Hochleistungsblock mit 55 m Blockteilung entlang des Bahnsteigs zeichnet sich durch eine deutlich kürzere Blockteilung aus als es mit einer konventionellen signalgeführten Signalisierung möglich wäre. An den Sperrzeitentreppen in Abbildung 75 lässt sich besonders gut erkennen, dass die kurze Blockteilung im Bereich der Bahnsteige eine kürzere Zugfolge zulässt, weil Züge dichter an vorherfahrende Züge aufschließen können und früher nachrücken können, sollte es zu Haltezeitüberschreitungen kommen.

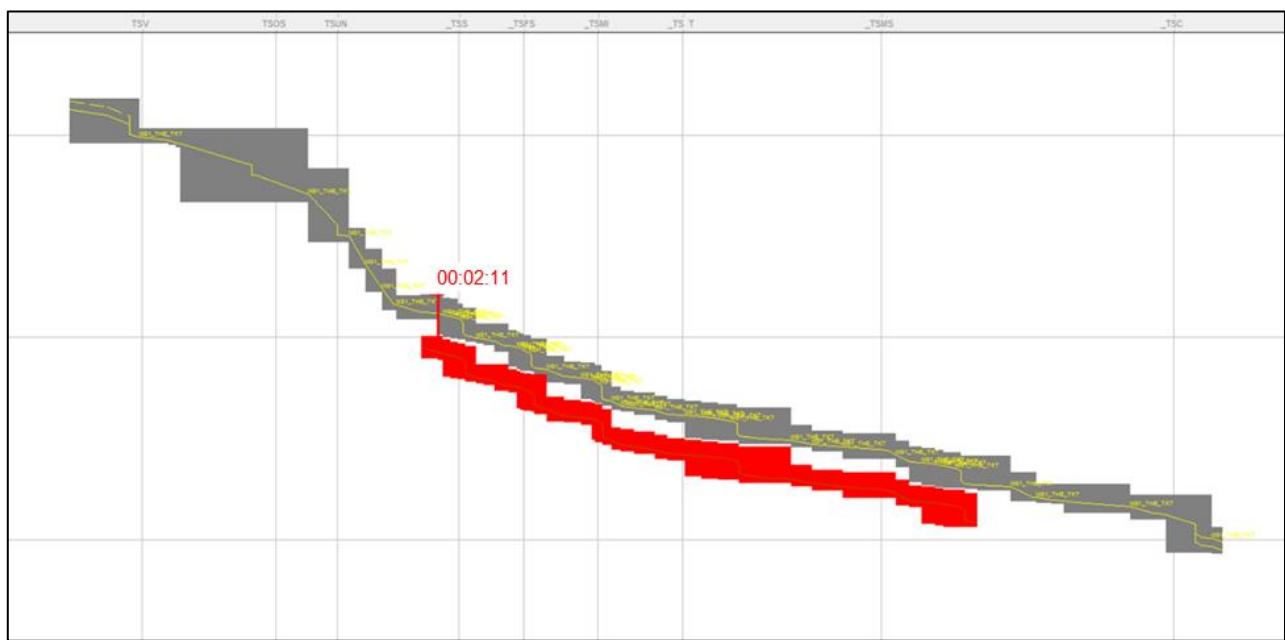


Abbildung 75: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m

Der Hochleistungsblock von 55 m entlang des Bahnsteigs ist sehr effektiv, indem er die Mindestzugfolgezeit in Richtung Norden im Mittel um 18 s reduziert. Aus den Sperrzeitentreppen lässt sich erkennen, dass nicht allein ein Halt die Mindestzugfolgezeit bestimmt, sondern alle Stationen ähnliche Puffer aufweisen. Dies unterstreicht, dass alle Stationen im gleichen Maße ausgerüstet werden sollten (gleiche Blockteilung). Die Mindestzugfolgezeiten betragen je nach Folgefall 2:11 bzw. 2:05 min.

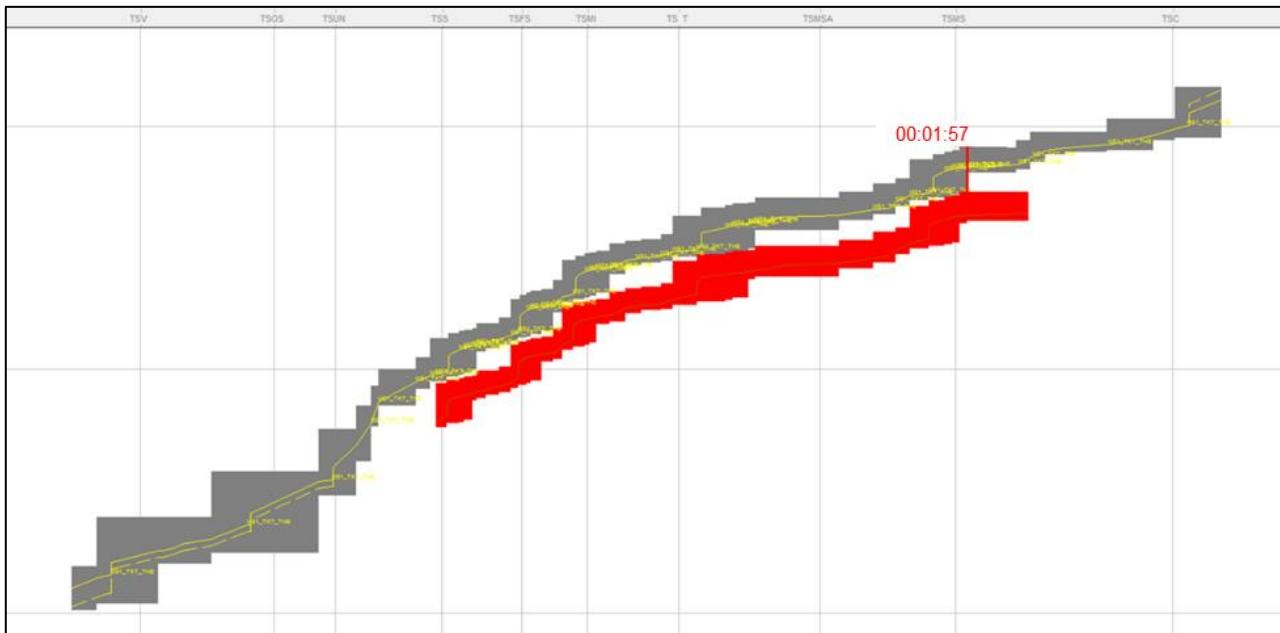


Abbildung 76: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m

In der Gegenrichtung beträgt die Mindestzugfolgezeit durchschnittlich 2:05 min und ist damit 17 s kürzer als im Szenario „Ks ohne ETCS“.

Die Mindestzugfolgezeit des Zugfolgefalls „Langläufer folgt Kurzläufer“ beträgt 2:12 min während die Mindestzugfolgezeit des umgekehrten Zugfolgefalls aufgrund unterschiedlicher Annäherungsfahrzeiten nur 1:57 min beträgt (siehe Abbildung 76).

Für den erweiterten Betrachtungsraum sind keine Mindestzugfolgezeiten berechnet worden, da im zweiten Schritt nur noch ETCS+ und ETCS+ mit ATO-Light weiterverfolgt worden ist.

Im Falle eines ETCS-Ausfalls dient die Ks-Signalisierung als Rückfallebene, sodass für diese die Mindestzugfolgezeiten und Simulationsergebnisse der Ks-Signalisierung gelten.

3.1.3.1.1.3 ETCS+

Unter ETCS+ beträgt die Blockteilung entlang des Bahnsteigs wie unter ETCS Basis auch 55 m und ist damit auf eine maximale Streckengeschwindigkeit von 80 km/h gemäß Arbeitsstand CR953 bemessen. Für den Fall, dass eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit nicht möglich sein sollte, ergibt sich die Möglichkeit die Blockteilung entlang des Bahnsteigs noch auf 44 m zu reduzieren.

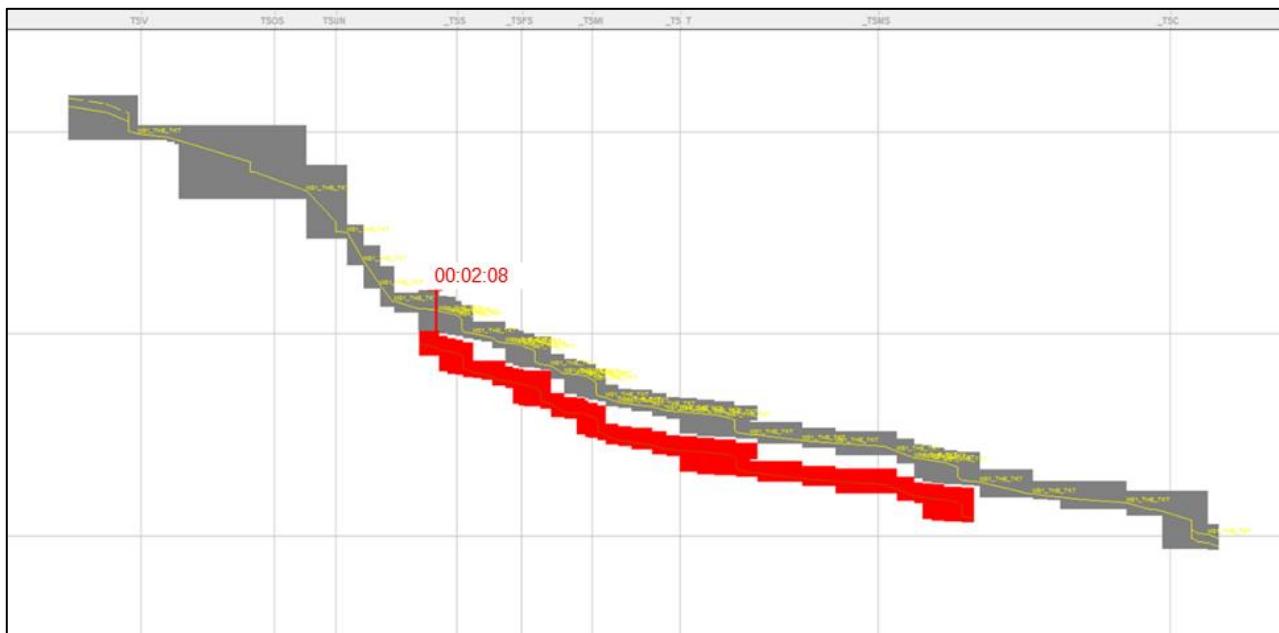


Abbildung 77: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m

Im Vergleich zu ETCS Basis kann das Einfahrtsignal (Blockkennzeichen) bis auf 51 m an das Ausfahrtsignal der Gegenrichtung heran verschoben werden, weil die Restriktionen aus der Positionierung von Ks-Signalen (D-Wege) entfallen. Zusätzlich können mit ausreichender Wahrscheinlichkeit kürzere Systemlaufzeiten unterstellt werden, sodass sich im Mittel im Vergleich zu ETCS Basis eine drei Sekunden und im Vergleich zur Ks-Signalisierung eine 11 s kürzere Mindestzugfolgezeit in Richtung Norden ergibt (siehe Abbildung 77). Die Mindestzugfolgezeiten betragen 2:08 min für den Fall Kurzläufer folgt Langläufer und 2:03 min für den entgegengesetzten Fall.

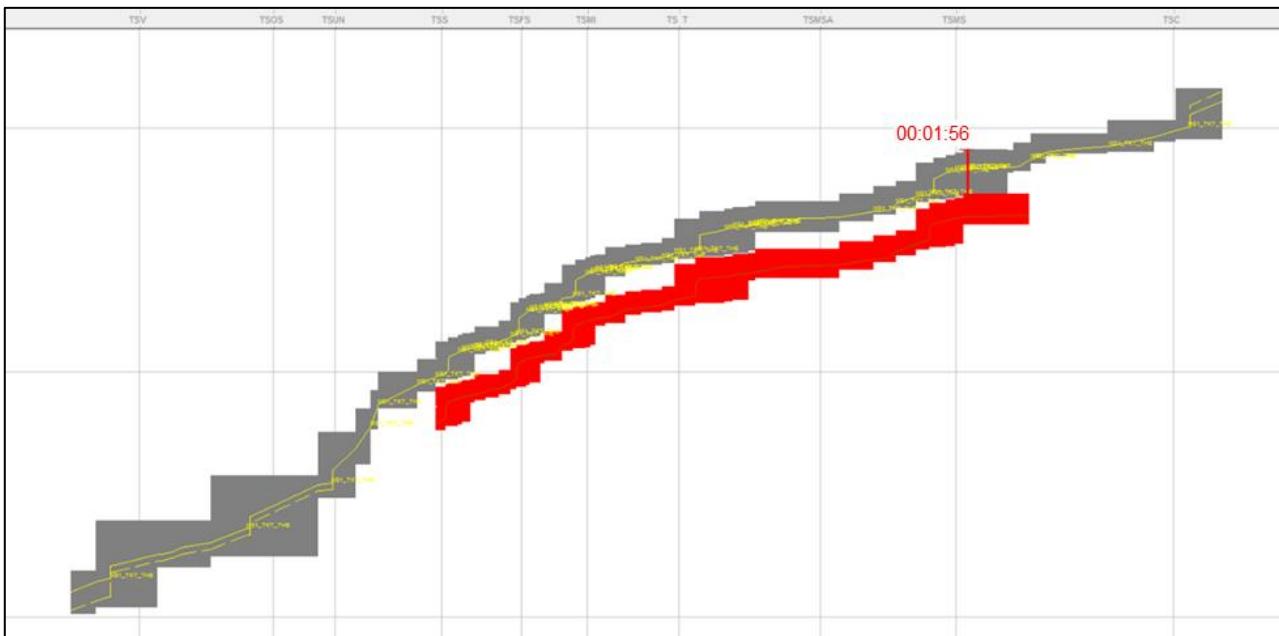


Abbildung 78: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS und Hochleistungsblock 55 m

In Richtung Süden beträgt die mittlere Mindestzugfolgezeit 2:02 min und ist damit zwei Sekunden kürzer als bei ETCS-Basis und 19 s kürzer als im Szenario „Ks ohne ETCS“. Für den in Abbildung 78 dargestellten Zugfolgefäll beträgt die Mindestzugfolgezeit 1:56 min während der umgekehrte Zugfolgefäll zu einer Mindestzugfolgezeit von 2:10 min führt.

Wird der Fokus auf den erweiterten Betrachtungsraum erweitert, ist es offensichtlich, dass die Mindestzugfolgezeiten im Szenario „ETCS+ auf der Stammstrecke“ lediglich für den Zugfolgefäll Langläufer/Kurzläufer und andersherum optimiert werden, weil die kritischen Blöcke der Mindestzugfolgezeiten in den anderen Fällen außerhalb der Stammstrecke liegen (vgl. Tabelle 63 und Tabelle 62).

Ziel der Optimierungen unter „ETCS+ im gesamten Betrachtungsraum“ ist eine Harmonisierung der Mindestzugfolgezeiten im Zulauf der Stammstrecke auf zwei Minuten. Im Filderbereich (S2 und S3) ist dieses Ziel erreichbar. Sollen die Mindestzugfolgezeiten weiter verkürzt werden, ist dies möglich unter Anpassung der Oberleitungsanlagen, insbesondere der Streckentrenner, welche zurzeit eine Positionierung Mindestzugfolgezeit-senkender Teilblöcke verhindern. Währenddessen ist eine Senkung der Mindestzugfolgezeit von und in Richtung Böblingen nur durch eine ETCS-Ausweitung bis zum Linienendpunkt in Herrenberg möglich, weil der maßgebende Block in Goldberg aufgrund der Stellwerksgrenzen bereits nicht mehr im erweiterten ETCS-Bereich liegt. Eine Optimierung der Mindestzugfolgezeit, an dieser Stelle auch unter konventioneller Signalführung, ist technisch nicht möglich.

Tabelle 62: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter ETCS+

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	2:52 ⁴ / 3:07 ¹	1:59 ¹ / 3:34 ¹	1:59 ¹ / 3:34 ¹	2:08 ³	1 Österfeld 2 Oberaichen 3 Schwabstraße 4 Goldberg
S2	2:19 ³ / 2:39 ¹	2:09 ³ / 3:23 ²	2:09 ³ / 3:23 ²	2:08 ³	
S3	2:19 ³ / 2:39 ¹	2:09 ³ / 3:23 ²	2:09 ³ / 3:23 ²	2:08 ³	
S4/S5/S6	2:03 ³	2:03 ³	2:03 ³		

Tabelle 63: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter ETCS+

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	2:58 ² / 3:06 ⁵	2:01 ¹ / 3:06 ⁵	2:01 ¹ / 3:06 ⁵	1:56 ⁴	1 Stuttgart Hbf 2 Goldberg 3 Leinfelden 4 Mittnachtstraße 5 Österfeld 6 Echterdingen
S2	2:08 ³ / 3:06 ⁵	2:08 ³ / 3:21 ⁶	2:08 ³ / 3:21 ⁶	1:56 ⁴	
S3	2:08 ³ / 3:06 ⁵	2:08 ³ / 3:21 ⁶	2:08 ³ / 3:21 ⁶	1:56 ⁴	
S4/S5/S6	2:10 ¹	2:10 ¹	2:10 ¹		

3.1.3.1.1.4 ETCS+ mit ATO-Light

Durch die Zusatzkomponente ATO können die Mindestzugfolgezeiten im Vergleich zu ETCS+ um konstante sieben Sekunden zuzüglich des Anteils geringerer Regelzuschläge (1 % statt 3 %) reduziert werden. Die Reduktion um sieben Sekunden folgt aus der Annäherungsfahrzeit (vgl. Abschnitt 3.1.2.2.3).

Tabelle 64: Mindestzugfolgezeiten in Nord-Süd-Richtung unter ETCS+ mit ATO-Light

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	2:56 ⁴	1:51 ¹	1:51 ¹	1:47 ³	1 Stuttgart Hbf
S2	1:59 ²	1:59 ²	1:59 ²	1:47 ³	2 Rohr
S3	1:59 ²	1:59 ²	1:59 ²	1:47 ³	3 Mittestraße
S4/S5/S6	2:00 ¹	2:00 ¹	2:00 ¹		4 Goldberg

Tabelle 65: Mindestzugfolgezeiten in Süd-Nord-Richtung unter ETCS+ und ATO-Light

	S1	S2	S3	S4/S5/S6	Maßg. Block in:
S1	2:50 ²	1:51 ¹	1:51 ¹	2:00 ¹	1 Schwabstraße
S2	2:08 ¹	2:07 ³	2:07 ³	2:00 ¹	2 Goldberg
S3	2:08 ¹	2:07 ³	2:07 ³	2:00 ¹	3 Leinfelden
S4/S5/S6	2:04 ¹	2:04 ¹	2:04 ¹		

3.1.3.1.1.5 Mindestzugfolgezeiten bei Ausfall von ETCS in ETCS+ (mit ATO-Light)

Sollte ETCS aufgrund einer Störung nicht zur Verfügung stehen (z. B. Ausfall RBC, GSM-R), würde der Zugbetrieb signalgeführt fortgesetzt. Dabei verschlechtern sich die Mindestzugfolgezeiten der Rückfallebene von ETCS+ im Vergleich zur Rückfallebene Ks-Signalisierung des Szenarios ETCS Basis leicht. Für den erfahrungsgemäß seltenen Fall einer ETCS-Störung ergeben sich wie in Abbildung 79 gezeigt in Richtung Norden Mindestzugfolgezeiten von 2:53 min bzw. 2:10 min.

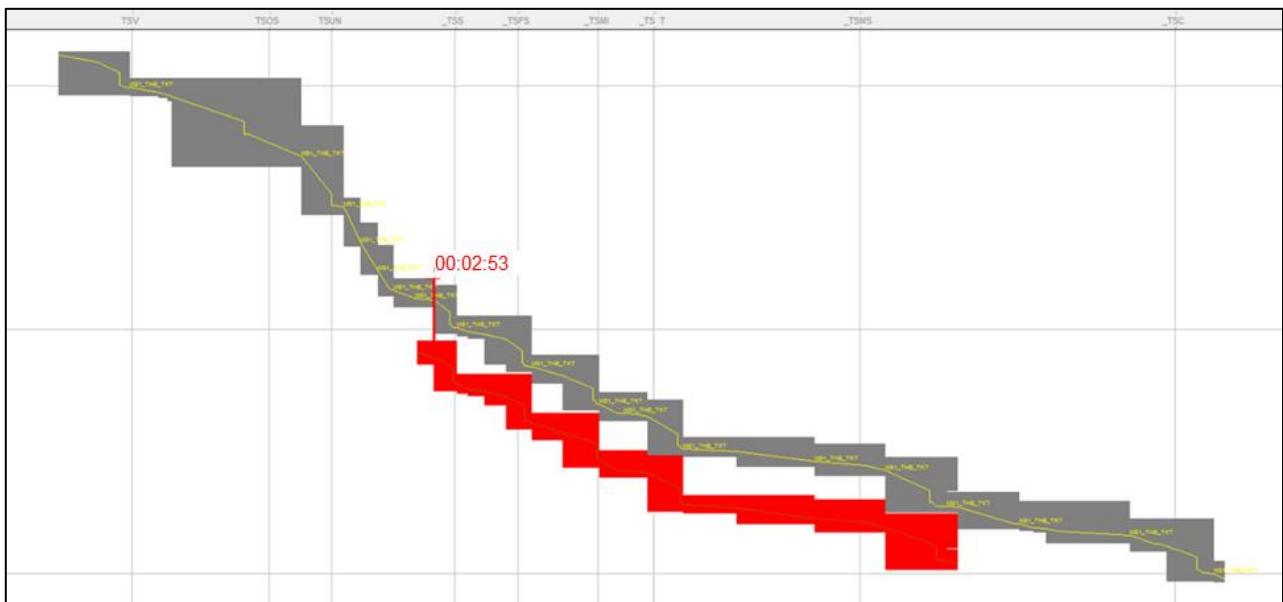


Abbildung 79: Mindestzugfolgezeit Schwabstraße – Mittnachtstraße bei ETCS+ in signalgeführter Rückfallebene

Die Mindestzugfolgezeit ist demnach im Mittel über beide Zugfolgefälle 15 s länger als bei Ks ohne ETCS. Der Vorteil einer besseren Betriebsqualität im Normalbetrieb durch eine ETCS-basierte Signalplanung überwiegt die schlechtere zu erwartende Betriebsqualität in der Notfallebene, da diese selbst in Form einer vollausgestatteten Ks-Signalisierung eine nicht annähernd gleichwertige Betriebsqualität aufweisen würde.

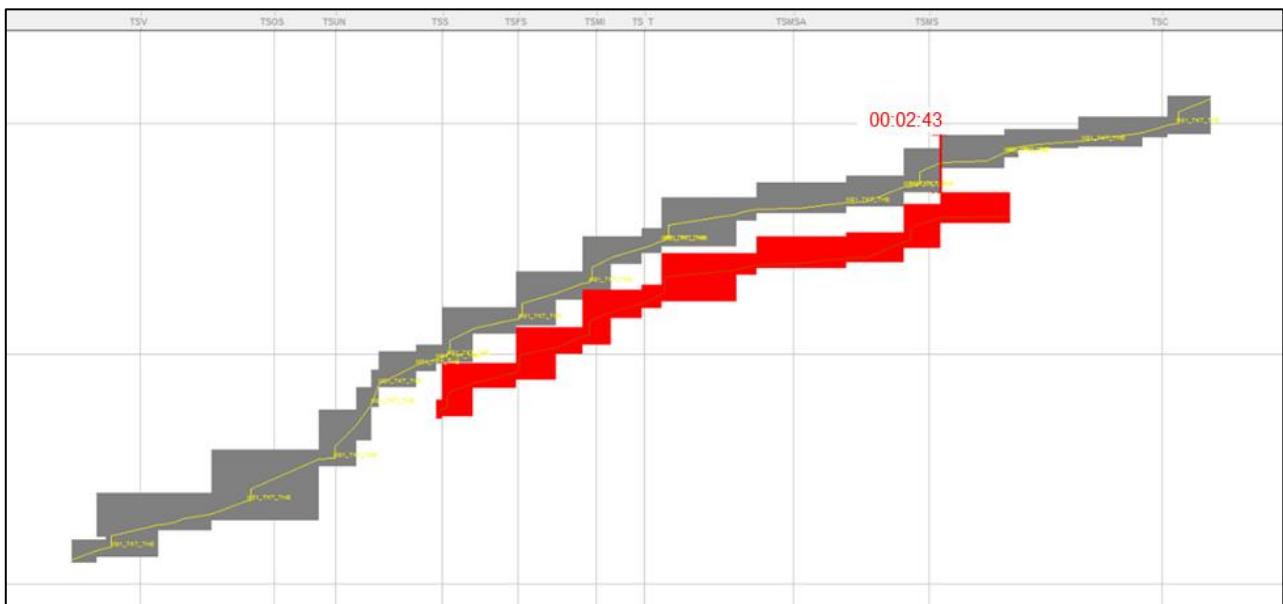


Abbildung 80: Mindestzugfolgezeit Mittnachtstraße – Schwabstraße bei ETCS+ in signalgeführter Rückfallebene

Abbildung 80 zeigt, dass die Mindestzugfolgezeit in Gegenrichtung 2:43 min bzw. 2:26 min beträgt, wodurch gemäß theoretischer Leistungsfähigkeit 23,3 Züge pro Stunde möglich wären.

Sollte ein Betrieb in dieser Rückfallebene notwendig werden, wird empfohlen, den Durchsatz von 24 Zügen pro Stunde um mindestens zwei Züge zu reduzieren, um ein Aufschaukeln der Verspätungen zu verhindern und die Betriebsqualität damit so weit wie möglich zu stabilisieren.

Eine Simulation der Rückfallebene in Schritt 1 ergibt, dass in einer Rückfallebene bei Reduktion auf 22 Zügen pro Stunde durchschnittlich 90 Sekunden Verspätung pro Zugfahrt im Bereich der Stammstrecke aufgebaut würden. Das Risiko für einen Betrieb in der Rückfallebene ist gering und das Ausmaß mit 90 Sekunden Verspätung je Zug vertretbar. Wägt man dies mit der deutlich besseren Betriebsqualität im Normalbetrieb ab, die mit der Reduktion der Außenanlagen einhergehen, ist die verminderte Betriebsqualität in der Rückfall-ebene akzeptabel.

Im Fall einer fahrzeugseitigen ETCS-Störung ist ein Wechsel nach Level STM/NTC zu empfehlen, um die Stammstrecke möglichst schnell zu räumen und damit die Störung des Betriebs zu minimieren. Bei diesem Prozess ist die Erteilung des schriftlichen Befehls für den manuellen Wechsel nach Level STM/NTC auf dem kritischen Pfad, sodass die Auswirkungen einer reduzierten Blockteilung unter konventioneller Signalisierung keine weiteren Verspätungen auslösen, weil nach dem dafür erforderlichen Zeitbedarf eine behinderungs-freie Fahrt unterstellt werden kann.

3.1.3.1.2 Theoretische Leistungsfähigkeit

Die theoretische Leistungsfähigkeit (s. Tabelle 66) beschreibt die theoretisch maximale Anzahl konstruierbarer Trassen auf Grundlage der Mindestzugfolgezeit. Das bedeutet, dass die theoretische Leistungsfähigkeit weder Pufferzeiten noch Fahr- und Haltezeitreserven betrachtet. Damit ist die theoretische Leistungsfähigkeit eine rudimentäre Kennzahl, die keine Aussage über die zu erwartende Betriebsqualität treffen kann, weil lediglich ein kritischer Block bei behinderungsfreier Fahrt die Mindestzugfolgezeit determiniert. Ein dichteres Nachrücken, ermöglicht durch kurze Blöcke, welche nicht maßgebend für die Mindestzugfolgezeit sind, bleibt somit unbeachtet. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in den theoretischen Leistungsfähigkeiten der ETCS-Szenarien wieder. Mit ETCS+ kann die theoretische Leistungsfähigkeit nur noch marginal verbessert werden, sodass gegenüber ETCS Basis nicht mehr Trassen angeboten werden können. Der maßgebende Nutzen von ETCS+ auf die Betriebsqualität wird im folgenden Abschnitt nachgewiesen. Mit ETCS (und ATO) kann die Leistungsfähigkeit der Stammstrecke nicht für eine signifikante Erhöhung konstruierbaren Trassen (jenseits von 24 Zügen/Stunde) gesteigert werden, sondern lediglich eine Verbesserung der Betriebsqualität erreicht werden.

Tabelle 66: Theoretische Leistungsfähigkeit der Szenarien in Zügen pro Stunde

Richtung	Ks	ETCS Basis	ETCS+	ETCS+ mit ATO-Light	Notfallebene ETCS+
Mittnachtstraße – Schwabstraße	25,4	28,9	29,3	31,7	23,3
Schwabstraße – Mittnachtstraße	26,5	28,1	28,7	29,5	23,8

3.1.3.1.3 Resultate der Betriebssimulation

In der Simulation werden die Szenarien Ks ohne ETCS, ETCS Basis und ETCS+ auf der Stammstrecke sowie im gesamten Betrachtungsraum mit und ohne ATO gegeneinander verglichen. Sowohl in Stufe I als auch in Stufe II ist der Auswertungsraum identisch mit dem Untersuchungsraum (Böblingen, Neuhausen, Zuffenhausen, Bad Cannstatt). Jedoch sind die Simulationsergebnisse beider Stufen aufgrund unterschiedlicher Untersuchungs- und damit auch unterschiedlicher Auswertungsräume nicht direkt vergleichbar. Aus diesem Grund sind die vergleichenden Simulationen aus Stufe I nochmals mit dem erweiterten Untersuchungs- und Aus-

wertungsraum durchgeführt worden, sodass die in den Simulationsergebnissen gegenübergestellten Varianten stets den gleichen Untersuchungs- und Auswertungsraum haben. Zur Bewertung weiterer Potenziale und Effekte sind weiterhin Sensitivitäten aufbauend auf den ETCS-Szenarien untersucht worden. Simuliert wird der Zeitraum von 5:00 bis 12:00 Uhr. In Schritt 1 erfolgt der Abgleich mit I.NMF 34 für die Zeitscheibe von 6:30 bis 9:30 Uhr.

Tabelle 67: Auswertungsräume der Linien

Linie	Richtung	Referenz Anfang	Referenz Ende
S1	Norden	Einbruch Böblingen	Ausbruch Bad Cannstatt
S2/S3	Norden	Abfahrt Flughafen bzw. Vaihingen	Ausbruch Bad Cannstatt
S1	Süden	Einbruch Bad Cannstatt	Ausbruch Böblingen
S2/S3	Süden	Einbruch Bad Cannstatt	Ankunft Vaihingen bzw. Flughafen
S4/S5/S6	Wende	Einbruch Zuffenhausen	Ausbruch Zuffenhausen

Zentraler Kennwert der Untersuchungen ist die mittlere Änderung der Verspätung der Züge über den Betrachtungsraum (Ausbruchsverspätung bzw. Ankunft letzter Halt – Abfahrt erste Station bzw. Einbruchsverspätung). Bei den Kurzläufen wird dabei die Fahrt durch die Wendeanlage inklusive Haltezeitreserve betrachtet. Dies ist notwendig, um die Interferenzen aus der vorherigen Fahrt richtig zu bewerten.

Die Betriebsqualität steigt kontinuierlich ausgehend von der Ks-Signalisierung über ETCS Basis und ETCS+ hin zu ETCS+ mit ATO-Light. Bei der Bewertung der Simulationsergebnisse aus dem zweiten Schritt und insbesondere beim Vergleich mit den Ergebnissen aus dem ersten Schritt ist zu beachten, dass sich durch die Erweiterung des Betrachtungsraums die Voraussetzungen für einen stabilen Betrieb tendenziell verbessern. Während im ersten Schritt ausschließlich die dicht befahrene Stammstrecke mit wenig Puffer- und Reservezeiten untersucht worden ist, sind im zweiten Schritt im erweiterten Betrachtungsraum konsequent mehr Puffer- und Reservezeiten vorhanden. Zudem starten Züge aufgrund anderer Einbruchsverspätungen und Umlaufverknüpfungen deutlich pünktlicher (vgl. Abschnitt 3.1.2.4: Einbruchsverspätungen und Haltezeitverlängerungen).

Tabelle 68: Globale Verspätungskennwerte der Szenarien in Schritt 2

	Ks/HV-Signalisierung Nullvariante	ETCS+ Stammstrecke Ausbaustufe 1	ETCS+ gesamter Betrachtungsraum Ausbaustufe 4a	ETCS+ mit „ATO-Light“ Ausbaustufe 5
Durchschnittliche Verspätungsänderung ⁵	10,0 s	-6,6 s	-9,3 s	-15,6 s
Median der Verspätungszunahme	0,0 s	0,0 s	-1,0 s	-3,0 s
Durchschnittliche Verspätung im letzten Halt bzw. bei Ausbruch	55,1 s	19,2 s	17,2 s	13,7 s
Entwicklung der 3-min-Pünktlichkeit über Betrachtungsraum	-1,1 %	0,2 %	0,5 %	1,0 %

Die Simulationsergebnisse der Nullvariante weisen im zweiten Schritt eine durchschnittliche Verspätungszunahme von 10 Sekunden pro Zug aus (vgl. Tabelle 68). Die Hälfte der Züge baut mit Fokus auf den gesamten Betrachtungsraum keine Verspätung auf. Dennoch nimmt die 3-min-Pünktlichkeit über den Betrachtungsraum um 1,1 % ab. In Ausbaustufe 1 wird der Nutzen von ETCS+ auf der Stammstrecke in Analogie zur Ausrüstung im ersten Schritt untersucht. Eine ETCS-Ausrüstung im kritischsten Bereich der S-Bahn Stuttgart bewirkt bereits einen Verspätungsabbau von 6,6 Sekunden pro Zug. Während der Effekt auf den Median im Vergleich zur Nullvariante nicht vorhanden ist, verbessert sich die 3-min-Pünktlichkeit jedoch um 0,2 %. Ziel des zweiten Schrittes ist die Nutzenbewertung einer ETCS-Ausrüstung in direkter Umgebung der Stammstrecke, um die Betriebsqualität bereits in den Zuläufen zu stabilisieren. Die Simulation bestätigt, dass mittels ETCS die Zuläufe derart stabilisiert werden können, dass die durchschnittliche Verspätung im Betrachtungsraum nochmals 2,7 Sekunden pro Zug geringer ausfällt als bei alleiniger Ausrüstung der Stammstrecke. Die rund sieben Sekunden kürzere Mindestzugfolgezeit unter ATO führt zu einem weiteren durchschnittlichen Verspätungsabbau von durchschnittlich 15,6 Sekunden. Für die 3-min-Pünktlichkeit bedeutet dies einen Anstieg um ein Prozent.

⁵ Mittlere Änderung der Verspätung der Züge über den Betrachtungsraum (Ausbruchsverspätung – Einbruchsverspätung). Bei den Kurzläufen wird dabei die Fahrt durch die Wendeanlage inklusive Haltezeitreserve betrachtet. Dies ist notwendig, um die Interferenzen aus der vorherigen Fahrt richtig zu bewerten.

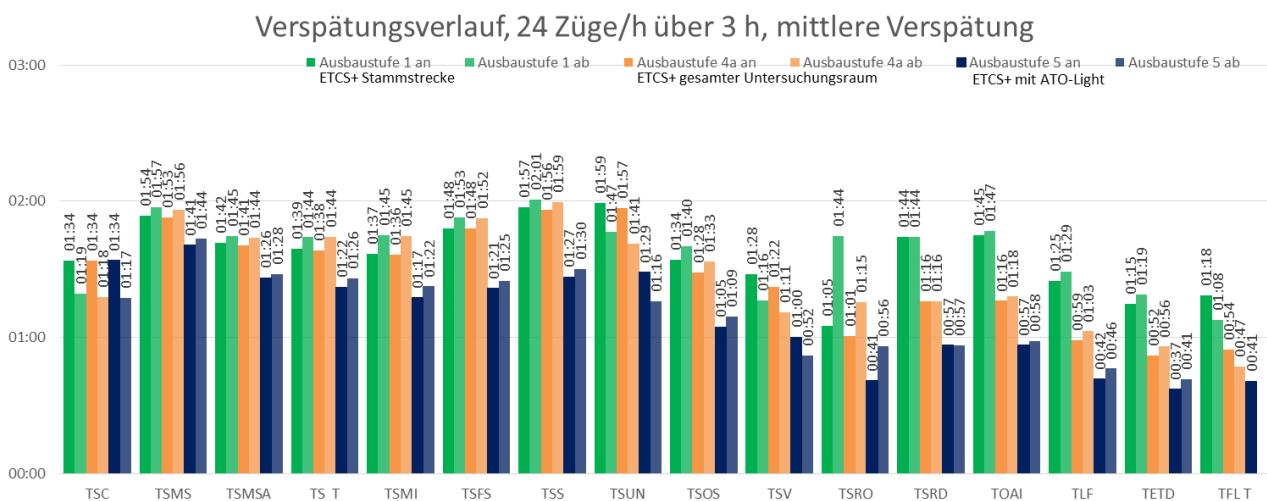


Abbildung 81: Durchschnittliche Absolut-Verspätungen je Betriebsstelle zwischen Bad Cannstatt und Flughafen

Die größte Aussagekraft für einen Vergleich der Simulationen aus den Schritten 1 und 2 hat der Kennwert „Durchschnittliche Verspätung im letzten Halt bzw. bei Ausbruch“, weil dieser die Verspätung absolut und nicht relativ beschreibt. Betrachtet man die Ergebnisse aus beiden Schritten nur relativ, könnte der Eindruck erweckt werden, dass der Effekt von ETCS+ mit Ausweitung des Betrachtungsraums abgenommen hätte. Züge unter konventioneller Signalisierung brechen durchschnittlich mit 55 Sekunden Verspätung aus bzw. erreichen ihren letzten Halt des Laufwegs mit eben dieser Verspätung. Mit ETCS+ auf der Stammstrecke kann das Verspätungsniveau deutlich um rund 35 Sekunden gesenkt werden. Eine Ausweitung von ETCS+ und die Einführung von ATO können das Verspätungsniveau dann nochmals um zwei bzw. fünf Sekunden reduzieren, sodass die Züge in letzterem Fall mit lediglich 13,7 Sekunden Verspätung ausbrechen bzw. enden.

In der Simulation des ersten Schrittes liegt ein wesentlich höheres Verspätungsniveau zugrunde, sodass nahezu alle Züge zumindest eine geringe Verspätung aufweisen und damit auch mehr Verspätung als im zweiten Schritt abbauen können. Der Grund für das unterschiedliche Verspätungsniveau wird in Abschnitt 3.1.2.4 beschrieben. Zwar können in Schritt 1 mit ETCS+ 11 Sekunden statt 6,6 Sekunden in Schritt 2 abgebaut werden, jedoch ist das Ausgangsniveau in Schritt 1 mit rund 130 Sekunden wesentlich höher. Damit sind ein größerer Verspätungsabbau als bei einem niedrigen Verspätungsniveau plausibel.

Insgesamt ist das Verspätungsniveau bei Ausbruch im ersten Schritt bei Ks und ETCS+ in beiden Fällen rund 110 Sekunden höher. Die Simulationsergebnisse des ersten Schritts (vgl. Tabelle 69) der Ks-Signalisierung zeigen, dass die Züge im Mittel rund 19,2 Sekunden Verspätung über den Betrachtungsraum aufbauen. Dennoch schaukeln sich die Verspätungen nicht in dem Maße auf, dass das Gesamtsystem instabil wird. Der Median von 1,6 Sekunden zeigt, dass insbesondere Ausreißer für die hohen mittleren Verspätungen verantwortlich sind. Der Anteil der weniger als drei Minuten verspäteten Züge (d.h. „3-min-Pünktlichkeit“) sinkt im Betrachtungsraum um 3,9 %.

Eine Basisvariante von ETCS aufbauend auf der Ks-Signalisierung reduziert die mittlere zu erwartende Verspätungszunahme je Zug um rund 18 s auf 1,6 s. Wie bei Ks ohne ETCS resultiert auch hier der Verspätungszuwachs aus der Verspätung von Ausreißern. Wie der Median zeigt, bauen 50 % der ETCS-geführten Züge leicht Verspätung über den Betrachtungsraum ab. Die durchschnittliche Verspätung der Züge bei Ausbruch kann durch ETCS in der Basisvariante um 12 % gesenkt werden. Dementsprechend sinkt die 3-Minuten-Pünktlichkeit lediglich noch um 1,4 %.

ETCS+ ist das einzige Szenario, in dem im Mittel Verspätung über den Betrachtungsraum abgebaut wird. Der Mittelwert wird von positiven Ausreißern dominiert, sodass dieser zwei Sekunden besser als der Median ist. Im Vergleich zur Ks-Signalisierung kann die Verspätung bei Ausbruch im Mittel um 24 % reduziert werden. Die Entwicklung der 3-Minuten-Pünktlichkeit unterstreicht, dass mit ETCS+ das Pünktlichkeitsniveau gehalten werden kann.

Tabelle 69: Globale Verspätungskennwerte der Szenarien im ersten Schritt

	Ks	ETCS Basis	ETCS+
Durchschnittliche Verspätungsänderung	19,2 s	1,6 s	-11,0 s
Median der Verspätungsänderung	1,6 s	-2,0 s	-9,0 s
Durchschnittliche Verspätung im letzten Halt bzw. bei Ausbruch	168 s	148 s (-12 %)	129 s (-24 %)
Entwicklung der 3-min-Pünktlichkeit über Betrachtungsraum	-3,9 %	-1,4 %	0,6 %

Über alle Szenarien erstreckt sich die Beobachtung, dass die hohe Einbruchsverspätung der Kurzläufer aus Richtung Nordbahnhof zu hohen Sekundärverspätungen im Betrachtungsraum führen, die nicht vom Zugsignalierungssystem abhängig sind oder davon verhindert werden können. Die ETCS-Varianten schaffen es jedoch durchaus die Auswirkungen dieser erheblichen Störungen zu minimieren.

3.1.3.1.4 Simulationsergebnisse der Sensitivitäten

Die Untersuchung von Sensitivitäten dient zur Darstellung von weiteren Chancen für die Verbesserung der Betriebsqualität auf der S-Bahn-Stammstrecke. Zum einen fehlen in Deutschland bislang Erfahrungen mit dem Einsatz von ETCS auf hochbelasteten Strecken, sodass sich eine kapazitätsoptimierte Fahrweise und Ausnutzung der ETCS-Bremskurven erst einstellen muss. Während in den Szenarien konservativ eine Bremsseinleitung bei Erscheinen der „Indication Curve“ angenommen wird, werden in den Sensitivitäten die Chancen und Risiken einer strafferen Fahrweise untersucht.

Zum anderen besteht mit ETCS aus Sicht der Sicherungstechnik die Möglichkeit, die Streckengeschwindigkeit auf der Stammstrecke auf 80 km/h zu erhöhen, und damit bei identischem Fahrplan Fahrzeitreserven zu generieren. Ebenfalls wird untersucht, ob eine Verkürzung der Blocklänge am Bahnsteig auf 30 m einen betrieblichen Nutzen erzielen kann. Da alle drei Ansätze nicht sicher angenommen werden können, ist deren Nutzen als Potenzial zu werten. Abschließend wird die Auswirkung einer fehlenden ETCS-Ausrüstung bei Zügen des Nahverkehrs auf die Betriebsqualität aufgezeigt.

3.1.3.1.4.1 Kapazitätsoptimierte Fahrweise der Triebfahrzeugführer bei ETCS+ und ETCS Basis

Unter einer kapazitätsoptimierten Fahrweise wird eine möglichst späte Einleitung der Bremsung mit einer regulären Bremsbeschleunigung von maximal $0,7 \text{ m/s}^2$ verstanden. Diese Bremsbeschleunigung liegt noch im komfortablen Bereich für den Fahrgäst und wird heute unter konventioneller Signalisierung regelmäßig ausgenutzt. Aufgrund der restriktiveren ETCS-Bremskurven kann die angestrebte Bremsbeschleunigung bei Einfahrt auf ein haltzeigendes Signal oder einen Geschwindigkeitswechsel unter Einleitung der Bremsung bei Erreichen der „Indication Curve“ und anschließender Bremsung entlang der „Permitted Curve“ nicht erreicht werden. Als Kompromiss sollte daher die Einleitung der Bremsung unter ETCS so lange herausgezögert werden,

den, wie es gegenüber dem Triebfahrzeugführer zumutbar ist. Dies muss jeder Triebfahrzeugführer individuell für sich entscheiden. Das ETCS-Braking-Model sieht eine Reaktionszeit des Triebfahrzeugführers von vier Sekunden vor. Eine solche Fahrweise ist nicht sicherheitskritisch, weil die automatische Auslösung der Zwangsbremse weiterhin identisch erfolgt. Die Fahrplankonstruktion ist von dieser Maßnahme ebenfalls nicht betroffen. Die Annäherungsfahrzeit beginnt dort mit Erreichen der Indication Curve und unterstellt damit weiterhin die unbehinderte Fahrt.

Die Annäherung an eine End-of-Authority wird dem Triebfahrzeugführer in mehreren Stufen auf dem DMI inklusive des Zielhorizonts signalisiert. In Tabelle 70 sind die damit verbundenen Ereignisse dargestellt. Die erste Ankündigung, dass sich der Zug einem haltzeigenden Signal nähert, erfolgt mit dem Passieren der „Indication Curve“ und der damit verbundenen Gelbfärbung der Geschwindigkeitsanzeige. Nach Ablauf der Reaktionszeit des Triebfahrzeugführers von vier Sekunden und der Bremsaufbauzeit von 5,12 s gemäß Conversion Model für die eingesetzten S-Bahn-Fahrzeuge schneidet die Trajektorie gemäß SRS 3.6.0 die „Permitted Curve“. Diese Bremskurve entspricht der idealen Bremskurve eines ETCS-geführten Zuges. Wird diese Kurve geschnitten, wird dies dem Triebfahrzeugführer durch einen Warnton gemeldet. Zwei Sekunden darauf wird die „Warning Curve“ geschnitten und als zweite Warnung gegenüber dem Triebfahrzeugführer die Geschwindigkeitsanzeige orange gefärbt. Sollte die Bremsung zwei Sekunden später immer noch nicht eingeleitet worden und so ein Passieren der „Emergency Brake Intervention Curve“ nicht verhindert worden sein, leitet ETCS eine automatische Zwangsbremse ein.

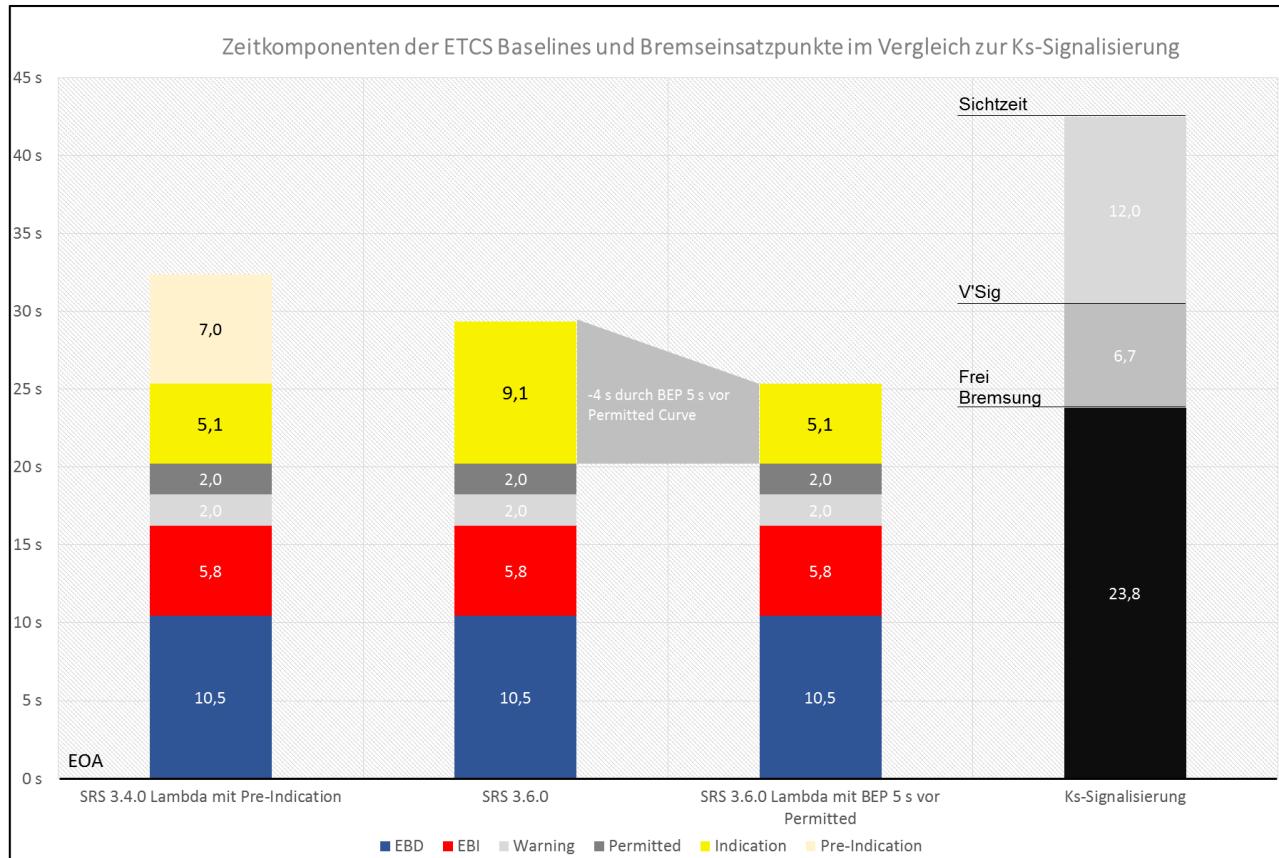


Abbildung 82: Zeitliche Komponenten der ETCS-Bremskurven im Vergleich zur Ks-Signalisierung bei Bremsung aus 60 km/h; Grundlage aller Untersuchungen ist die SRS 3.6.0

In SRS 3.4.0 gibt es eine zusätzliche Komponente „Pre-Indication“ die den Triebfahrzeugführer rund zwölf Sekunden vor Erreichen der „Permitted Curve“ über das Ende der Movement Authority informiert. Eine Einleitung der Bremsung ist sowohl unter SRS 3.4.0 als auch unter SRS 3.6.0 frühestens ab Erreichen der „Indication Curve“ praktikabel, weil erst dort eine Farbänderung des DMI einsetzt. Weil mit SRS 3.6.0 eine zusätzliche Zeitkomponente T_DRIVER in die „Indication Curve“ integriert worden ist, ist diese vier Sekunden länger als unter SRS 3.4.0.

Wie Abbildung 82 zeigt, ist eine Steigerung der Kapazität durch Ausnutzung möglichst großer Bremsbeschleunigungen unter ETCS möglich, indem die Einleitung der Betriebsbremsung innerhalb der „Indication Curve“ verzögert wird, ohne die von der Permitted Curve beschriebene Geschwindigkeit zu verletzen. Ein realistischer Kompromiss zwischen Kapazitätsgewinn und Belastung der Triebfahrzeugführer ist es, Letztere entsprechend zu schulen, dass die vom System zugesprochene Reaktionszeit von vier Sekunden vollständig ausgenutzt wird und die Bremsung damit rund fünf Sekunden vor Erreichen der Permitted Curve eingeleitet wird. Bei einem schnellbremsenden S-Bahn Fahrzeug ist die im ETCS-Braking-Model definierte Bremsaufbauzeit von fünf Sekunden mit genug Margen versehen, um nicht Gefahr zu laufen die „Permitted Curve“ zu schneiden. Durch Lerneffekte wird sich auf Seiten der Triebfahrzeugführer ein Gefühl für die Bremskurven entwickeln, sodass sich ggf. eine weitere Ausreizung der Bremseinsatzpunkte einstellen wird. Dieser Effekt wäre der Betriebsqualität dienlich, könnte und sollte aber auf Grundlage aktueller Richtlinien nicht in der Fahrplankonstruktion für zusätzliche Trassen genutzt werden. Spätere Bremseinsatzpunkte sind mit ATO möglich, weil der computergestützten Geschwindigkeitsregelung präzisere Informationen zur Ist- und Solltrajektorie vorliegen und wesentlich geringere Reaktionszeiten im Vergleich zu einem Triebfahrzeugführer zu beachten sind.

Wie in Tabelle 70 dargestellt bringt eine Bremsung fünf Sekunden vor der „Permitted Curve“ große Potenziale für die Betriebsqualität der ETCS-Szenarien gemäß Simulationsergebnissen aus Schritt 1.

Tabelle 70: Potenzial der Wahl des Bremseinsatzpunktes unter ETCS

Ks		ETCS Basis		ETCS+	
		Indication	BEP 5 s vor Permitted	Indication	BEP 5 s vor Permitted
Durchschnittliche Ver-spätungsänderung	19,2 s	1,6 s	-9,0 s	-11,0 s	-25,6 s
Median der Verspätungsände-rung	0,0 s	-2,0 s	-4,0 s	-9,0 s	-17 s
Entwicklung der 3-min-Pünktlichkeit über Betrachtungsraum	-3,9 %	-1,4 %	0,8 %	0,6 %	2,9 %

Mit Hilfe einer verzögerten Einleitung der Bremsung, welche effektiv eine steilere Bremskurve ermöglicht, kann bereits im Szenario ETCS Basis ein Verspätungsabbau über den Betrachtungsraum erreicht werden. Mit ETCS+ ist sogar ein durchschnittlicher Verspätungsabbau von rund 26 s auf der Stammstrecke möglich. Somit könnte ausreichend Puffer generiert werden, um externe Einflüsse wie höhere Verspätungen außerhalb des Betrachtungsraums oder Haltezeitüberschreitungen auf der Stammstrecke in Teilen zu kompensieren.

3.1.3.1.4.2 Nutzen höherer Bremsbeschleunigungen

Theoretisch bietet die Erhöhung der Bremsbeschleunigung einen gewissen Nutzen. Tabelle 71 fasst die möglichen Fahrzeitverkürzungen je Bremsung bei unterschiedlichen Bremsbeschleunigungen zusammen. Der technisch-realisierte Nutzen wird jedoch durch Bremsaufbauzeit, Ruckminimierung und Sicherheitsmargen relativiert. Bei unbehinderter Fahrt (keine Deckelung durch ETCS Überwachungskurve) werden die genannten Bremsbeschleunigungen determiniert durch:

- die Bremseigenschaften des Zuges,
- das Komfortkriterium für den Fahrgast
- und die Umsetzung durch den Triebfahrzeugführer („Motivation/Nutzen“ und „Fähigkeit/Routine“).

Eine behinderungsfreie Fahrt wird aufgrund der engen Zugfolge hauptsächlich im Verspätungsfall eintreten und damit der Verspätungsreduktion dienen können.

Tabelle 71: Potenzial höherer Bremsbeschleunigungen

Bremsbeschleunigung [m/s ²]	Potential Fahrzeitverkürzung ggü. Standard-Bremsbeschleunigung je Bremsung [s]
0,5	- 4,8
0,7	-
0,9	2,6
1,1	4,3

Bei Bremsung mit Deckelung aus der ETCS-Überwachungskurve sind höhere Bremsbeschleunigungen problematisch. Eine Einfahrt auf Halt zeigendes Ausfahrtsignal ist aufgrund des ersten kurzen Teilblocks nahezu ausgeschlossen. In diesem Fall wäre sogar eine Bremsung mit freier Bremsbeschleunigung von 0,7 m/s² nur unter Ausreizung der Bremskurven möglich. In der Regel kann aber eine Einfahrt auf den ersten Teilblock angenommen werden. Bei Einfahrt auf Halt zeigendes Blockkennzeichen hinter dem Ausfahrtsignal können Bremsbeschleunigungen > 0,7 m/s² nur ausgefahren werden, wenn der Tf die ETCS-Bremskurven bis zur Warning Curve ausreizt. Mit Hilfe von ATO wären in beiden Fällen höhere Bremsbeschleunigungen möglich, weil die Vorbelegung geringer ist. Dennoch verbleibt das Risiko, dass eine höhere Bremsbeschleunigung als 0,7 m/s² fahrzeugseitig nicht dauerhaft möglich ist.

3.1.3.1.4.3 Erhöhung der Streckengeschwindigkeit auf 80 km/h bzw. 100 km/h

Für das Szenario ETCS+ wird weiterhin untersucht, welche Effekte eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit für verspätete Züge auf die Betriebsqualität hat. Neben der technischen Machbarkeit muss die Streckengeschwindigkeit im Regelbetrieb zwischen den Stationen erreicht werden. Aus letzterer Nebenbedingung folgt, dass in Fahrtrichtung Norden die gesamte Stammstrecke mit 80 km/h befahren werden kann, während in Richtung Süden zwischen Stadtmitte und Schwabstraße nur 70 km/h anstatt der 80 km/h erreicht werden können. Im Hasenbergtunnel zwischen Universität und Schwabstraße wurde eine Erhöhung von 80 auf 100 km/h stadteinwärts untersucht, wie sie stadtauswärts bereits heute gefahren wird.

Eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit dient lediglich der Kompensation von Verspätungen. Es wird empfohlen, die Fahrplankonstruktion weiterhin auf dem bisherigen Streckengeschwindigkeitsprofil durchzuführen, da eine höhere Geschwindigkeit kapazitiv in der Planung sogar nachteilig ist. Im Betrieb hingegen wird die höhere Geschwindigkeit im Falle einer Verspätung ausgefahren, sodass für den Zug ohnehin eine behinderungsfreie Fahrt unterstellt werden kann.

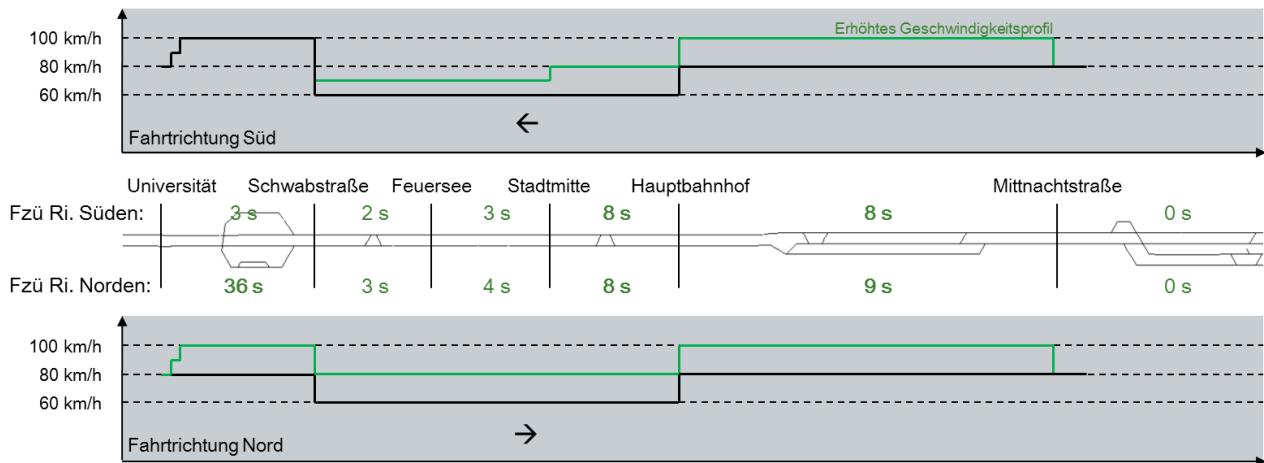


Abbildung 83: Abschnittsweise zusätzlich generierbare Fahrzeitreserven durch eine Geschwindigkeitserhöhung

Abbildung 83 weist für jeden Streckenabschnitt zwischen den Halten die zusätzlich generierbaren Fahrzeitreserven durch ein Ausfahren der höheren Streckengeschwindigkeit aus. Diese Fahrzeitreserven können direkt zur Verspätungsreduktion genutzt werden. Die größten Potenziale liegen mit 36 Sekunden Fahrzeitreserven im Hasenbergtunnel Fahrtrichtung Stammstrecke, wodurch der Zulauf auf diese stabilisiert werden könnte. Weiterhin ist der Nutzen zwischen Stadtmitte und Mitnachtstraße recht hoch, wobei eine gesamthaft und nicht nur eine stellenweise Erhöhung der Streckengeschwindigkeit empfohlen wird. Etwaige Modellgenauigkeiten hinsichtlich der Fahrzeitrechnung sind in diesem Vergleich vernachlässigbar, weil die erzielbaren Fahrzeitreserven für die Bestands- und angehobene Geschwindigkeit direkt verglichen werden und somit Modellgenauigkeiten eliminiert werden. Diese Annahme ist für alle Aussagen gültig, solange Zeiten und Kennwerte modellintern verglichen werden. Es sind keine Abweichungen zwischen den Fahrzeitrechnungen in RUT-K und LUKS bekannt. Sowohl von der DB Netz AG als auch dem Eisenbahnbusdesamt wird die Fahrzeitrechnung in LUKS als passfähig zum Pendant in RUT-K anerkannt.

In Abbildung 84 wird detailliert nachgewiesen, dass eine Geschwindigkeitserhöhung nicht nur vom ersten Zug zur Verspätungsreduktion genutzt werden kann, sondern aufgrund der vorhandenen Pufferzeiten in der folgenden Station auch noch den folgenden Zügen dient

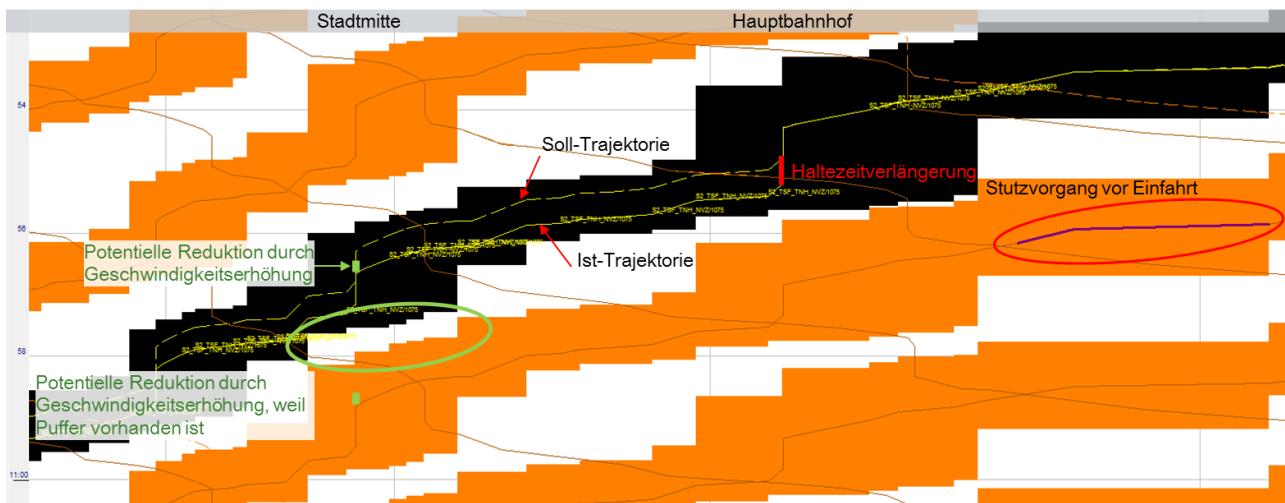


Abbildung 84: Nutzennachweis einer Geschwindigkeitserhöhung für Folgezüge

Eine Geschwindigkeitserhöhung im Szenario ETCS Basis würde identische nutzbare Fahrzeitreserven generieren wie unter ETCS+. Eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit ist mit Ks-Signalisierung nicht möglich, weil die notwendigen Vorsignaldistanzen bei 80 km/h nicht eingehalten werden können.

3.1.3.1.4.4 Nutzen einer dichten Blockteilung am Bahnsteig

Der Nutzen einer dichtenen Blockteilung wird durch eine kürzere und/oder geringere Folgeverspätung quantifiziert. Der Nutzen lässt sich nicht pauschal bewerten, weil er abhängig davon ist, ob der Triebfahrzeugführer oder ATO den Zug fährt. Der Nutzen tritt weiterhin nur ein, wenn der nachfolgende Zug vor dem Bahnsteig zum Stehen kommt. Der Nutzen für die Mindestzugfolgezeit ist mit unter einer Sekunde in Relation zu den erhöhten Kosten vernachlässigbar. Damit kann die theoretische Leistungsfähigkeit durch sehr kurze Blöcke nicht mehr nennenswert gesteigert werden.

Bei einem Tf-geführten Zug kann bei 30 m Blöcken ein nachrückender Zug die ersten 60 Meter mit maximal 20 km/h zurücklegen, weil er ansonsten in die Indication-Curve hineinfährt und der Triebfahrzeugführer die Bremsung einleiten würde. Erst nach 60 m sind ausreichend Blöcke geräumt worden, dass der Zug auf rund 30 km/h beschleunigen könnte. Ohne genaue dynamische Kenntnisse des vorausfahrenden Zuges ist der mögliche Zeitpunkt des Beschleunigens für einen Triebfahrzeugführer kaum möglich. Eine ideale Trajektorie kann daher nur von ATO abgefahren werden. Eine Trajektorie ohne ambitioniertes abtasten der Bremskurven bei 30 m Blöcken durch den Triebfahrzeugführer würde zu einer drei Sekunden höheren Folgeverspätung als unter 55 m-Blöcken führen.

Unter Annahme einer perfekten Nachführung unter ATO inklusive Prognose zur Fortschaltung der MA könnte die Folgeverspätung im gleichen Szenario um bis zu 3,5 Sekunden für die betroffene Zugfahrt reduziert werden. Damit der Effekt nicht in der folgenden Station wieder zunichte gemacht wird, müssten sämtliche Stationen der Stammstrecke eine dichtere Blockteilung erhalten. Eine weitere mathematische Optimierung der Blockteilung ist grundsätzlich möglich – für eine robuste Optimierung fehlen zum jetzigen Zeitpunkt jedoch stabile Eingangsdaten (exaktes Verhalten ATO, exaktes Bremsmodell, Eigenschaften neue Fahrzeuge). Weiterhin sollte untersucht werden, ob eine starre, durchgehende Blockteilung oder eine flexible, auf die Fahrdynamik, Neigung etc. angepasste Blockteilung in Hinblick auf Folgeverspätung, Kosten und Robustheit gegenüber Veränderungen vorteilhaft ist. Dabei ist zu beachten, dass die Vorbelegung in Form der Indication Curve des nachfolgenden Zuges bei einer beschleunigten Bewegung stetig wächst. Weiterhin kann sich für jede Station aufgrund der neigungsabhängigen Bremskurven eine andere optimale Blockteilung ergeben.

Es ist sicherzustellen, dass ATO nicht ständig zwischen maximaler Beschleunigung und Abbremsen im 30 m Abstand wechselt, sondern sanft nachfährt. Dies würde den Nutzen von 30 m Blöcken tendenziell verringern. Der Effekt von 3,5 Sekunden ist nicht additiv zu den Veränderungen der Verspätungsentwicklung, welche aus den EBWU der verschiedenen Szenarien resultieren. Mit Blick darauf, dass es nicht immer zu einer Haltezeitüberschreitung kommt und dass mit den ETCS/ATO-Szenarien durchaus Pufferzeiten bestehen, geht er nur anteilig in die Verspätungsentwicklung über den Betrachtungsraum ein.

Wie Abbildung 85 zeigt, ist die Einführung von 30 m-Blöcken generell risikobehaftet, da diese ohne ATO nachteiliger als 55 m-Blöcke sind und ATO in der Lage sein muss, die 30 m-Blöcke entlang einer on-board perfekt kalkulierten Solltrajektorie abzufahren. Es wird, unter der Annahme, dass die in den Berechnungen hergeleiteten Trajektorien so von ATO abgefahrene werden können, der 30 m-Block empfohlen, weil dieser im Störungsfall die Rückkehr zu einem stabilen Betrieb beschleunigen kann. Diese Annahme ist vor der Entwurfsplanung jedoch nochmals zu verifizieren. Sollte es mit ATO nicht möglich sein den Sollkurven zu folgen, ist hingegen eine „robustere“ Planung mit 55 m-Blöcken anzustreben.

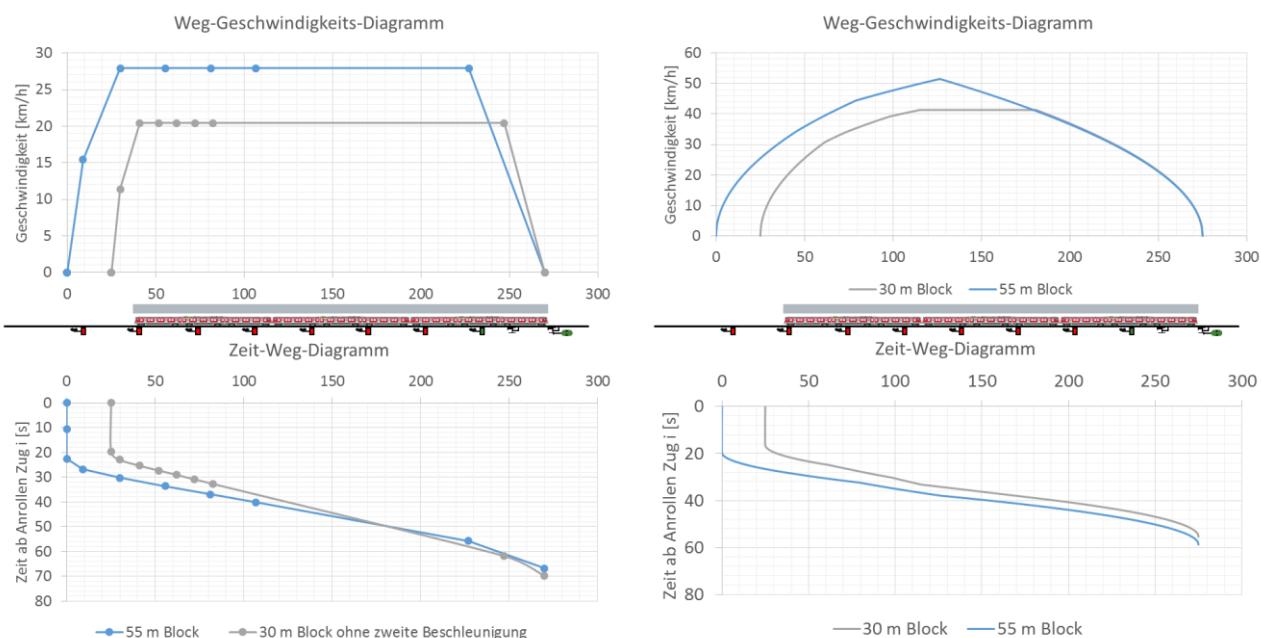


Abbildung 85: Trajektorien eines am Bahnsteig nachrückenden Zuges ohne (links) und mit ATO in Abhängigkeit der Blocklänge (30 vs. 55 m-Block)

3.1.3.1.4.5 Auswirkung fehlender ETCS-Ausrüstung bei Zügen des Nahverkehrs

Mit Hilfe einer Betriebssimulation wird geprüft, ob die ETCS-Ausrüstung der Nahverkehrszüge im südlichen Betrachtungsraum einen nennenswerten Einfluss auf die Betriebsqualität der S-Bahnen hat. Während mit ETCS+ im gesamten Betrachtungsraum durchschnittlich 9,3 Sekunden Verspätung abgebaut werden kann, reduziert sich dieser Wert ohne ETCS-Ausrüstung im Nahverkehr auf 8,9 Sekunden. Aus Perspektive der S-Bahn ist die ETCS-Ausrüstung des Regionalverkehrs folglich nicht kritisch. Die üblichen Kennzahlen sind in Tabelle 72 dargestellt.

Tabelle 72: Verspätungsdaten ETCS+ im gesamten Betrachtungsraum mit und ohne ETCS-Ausstattung im Nahverkehr

Verspätungsdaten der S-Bahn	ETCS+ im gesamten Betrachtungsraum
-----------------------------	------------------------------------

	MEX/RE mit ETCS	MEX/RE ohne ETCS
Durchschnittliche Verspätungszunahme	-9,3 s	-8,9 s
Median der Verspätungszunahme	-1,0 s	-0,0 s
Entwicklung der 3-min-Pünktlichkeit über Betrachtungsraum	0,5 %	0,1 %

3.1.3.2 Handlungsempfehlungen

Die zur Umsetzung des Szenarios ETCS+ notwendigen Maßnahmen werden gesondert in den jeweiligen Hauptaufgaben beschrieben. Auf eine redundante Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet.

In den Untersuchungen ist der Fahrplan mit 24 Zügen pro Stunde und Richtung zwischen Mittnachtstraße und Schwabstraße konstant geblieben. Sollen in Zukunft mit Hilfe von ETCS zusätzliche Trassen konstruierbar werden, ist es dringend notwendig, die ETCS Fahrzeit- und Belegungsrechnung in RUT zu implementieren, damit gewonnene Kapazitäten auch in bestellbare Trassen umgewandelt werden können.

Abbildung 86 zeigt den weiteren Weg auf, um die langfristig die Trassenkapazität auf der Stammstrecke zu erhöhen. Neben technischen Weiterentwicklungen ist vor allem eine Stabilisierung des Zulaufs anzustreben, um die angestrebte Betriebsqualität auf der Stammstrecke zu erreichen. Ist in einem nächsten Schritt die Betriebsqualität wieder ausreichend ausgebaut, kann die Anzahl Trassen erhöht werden, bis die Betriebsqualität wieder auf das angestrebte Niveau zurückgefallen ist. Eine Stabilisierung des Zulaufs bedingt im Rahmen von Entflechtungen Infrastrukturmaßnahmen.

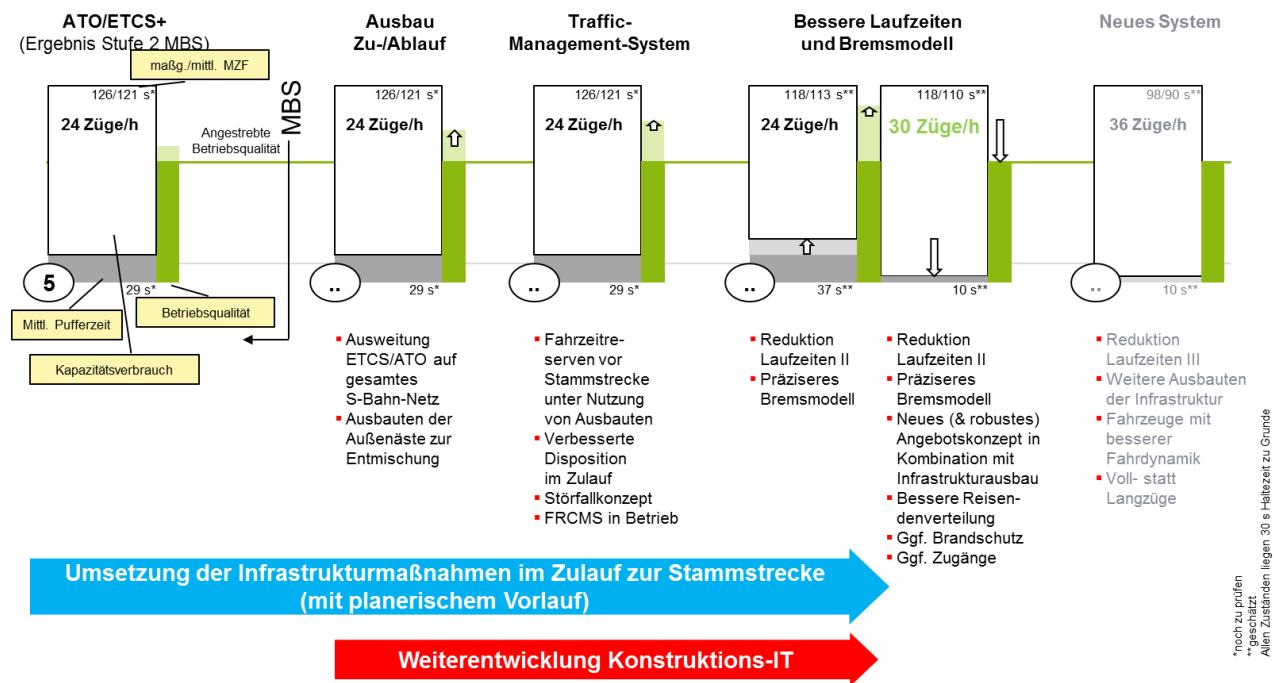


Abbildung 86: Ganzheitliche Weiterentwicklung von Netz und Technik in Etappen auf Trägersystem ETCS

3.1.3.3 Weitere Potenziale

Der Betrieb der S-Bahn-Fahrzeuge mit einer Konfiguration gemäß Gamma-Bremsmodell erfahrungsgemäß kürzere Überwachungskurven, sodass die Belegungszeit eines jeden Zuges verkürzt werden könnte. Der Nutzen konnte in dieser Studie nicht untersucht werden, weil für die betroffenen Baureihen noch keine Gamma-Werte ermittelt worden sind.

Weiterhin sind durchaus kürzere Systemlaufzeiten realisierbar, da die Annahmen im Rahmen dieser Studie bewusst konservativ gehalten sind.

3.1.3.4 Risiken

Der Verzicht auf Ks-Einfahrtsignale in Szenario ETCS+ birgt die Gefahr, dass bei verspäteter Umrüstung der Züge die Soll-Leistungsfähigkeit nicht erreicht wird. Daher ist es notwendig alle S-Bahnen vor der Inbetriebnahme von ETCS+ umzurüsten. Nicht-umgerüstete Züge hätten eine längere Mindestzugfolgezeit gemäß Abschnitt 3.1.3.1.1.5, sodass diese jeweils eine Verspätung von rund 90 Sekunden pro Zug bei Reduktion auf 22 Züge pro Stunde und Richtung im Bereich der Stammstrecke erfahren könnten.

Die geplante Ausweitung des Zweieinhalb-Minuten Takts belastet die Betriebsqualität unabhängig vom geplanten Zugsicherungssystem, da hierdurch die wichtige Erholungsphase für die Betriebsqualität zwischen Morgen- und Abend-HVZ entfällt. Dadurch werden größere Störungen länger im Gesamtsystem fortgepflanzt, weil die Puffer zwischen den Zügen nicht ausreichend groß sind, um größere Verspätungen abzubauen.

4 Ausrüstungsszenarien und Prozesse

4.1 Ausrüstungsstrategie

Dieses Kapitel entspricht den Arbeitspaketen 1 „Ausrüstungsstrategie“ und 3 „Prozessdesign“ aus der Leistungsbeschreibung.

4.1.1 Erstellung Ausrüstungsszenarien

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA1 des Arbeitspaketes AP1 aus der Leistungsbeschreibung.

4.1.1.1 Überblick

4.1.1.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Das Ziel der Aufgabe zur Erstellung der Ausrüstungsszenarien ist die Ableitung umsetzbarer Szenarien zur Ausrüstung der Ausrüstungsbereiche Mittnachtstraße bis Österfeld (Stammstrecke), Vaihingen bis Goldberg und Rohrer Kurve bis Filderstadt (beide Erweiterungsbereich I) im Baustein 1 unter Beachtung der ermittelten und abgeleiteten Rahmenbedingungen, im Weiteren auch als „Rollout-Szenarien“ bezeichnet. Basis sind hierbei die im Rahmen der Studie erarbeiteten Ergebnisse mit den Kernaussagen:

- Durch die Anwendung von ETCS+ im Ausrüstungsbereich des Baustein 1 steigt die Betriebsqualität bzw. ist ETCS+ die technologische Basis für eine Steigerung der Streckenkapazität.
- „ATO over ETCS“ in der im Rahmen der Studie definierten Ausgestaltung „ATO-Light“ ermöglicht eine weitere Erhöhung Betriebsqualität.
- Die Systemkonzeption ist mit heutiger ESTW- und mit DSTW-Technik umsetzbar.
- GSM-R ist mit entsprechender Umrüstung auf den Datenfunk im gesamten Betrachtungsraum für die Szenarien ausreichend.
- Eine IBN von ETCS und „ATO-Light“ im Betrachtungsraum des Bausteins 1 im Jahr 2025 ist erreichbar.

Die Herleitung der Aussagen ist den voranstehenden Kapiteln 2 (technisches Zielbild) sowie den nachstehenden Kapiteln 5 (Kostenschätzung) und 6.1 (Produktentwicklung) und zu entnehmen.

Hinsichtlich der zeitlichen Rahmenbedingungen wurde von Auftraggeber-Seite als Bereitstellungsziel für die ermittelte mögliche Kapazitätssteigerung bzw. Leistungsverbesserung (s.o.) die geplante Inbetriebnahme des Großprojektes Stuttgart 21, Dezember 2025, vorgegeben. Entsprechend soll eine geeignete Projektrealisierung diese Zielerreichung ermöglichen.

Als weitere maßgebende inhaltliche Rahmenbedingungen für die Bestimmung der geeigneten Ausrüstungs-szenarien bzw. Rollout-Szenarien sind hier außerdem hervorzuheben, dass zum einen die geplante Realisierung der Ausrüstung der S-Bahn Infrastruktur parallel zu der LST-Realisierung des laufenden Großprojektes Stuttgart 21 (gleiches IBN-Ziel, s.o.) erfolgen würde, woraus erhebliche Herausforderungen allein bei der Res-sourcenbeschaffung und –steuerung resultieren. Zum anderen, dass in dem Projekt eine erforderliche Erst-Zulassung der neuen ETCS- und ATO-Ausrüstung für die S-Bahn-Infrastruktur wie auch für die S-Bahn-Fahr-zeuge anfällt. An diesen Rahmenbedingungen muss sich jedes Rollout-Szenario messen lassen.

4.1.1.1.2 Fazit und Erkenntnisse

Auf Basis der oben beschriebenen Randbedingungen ergibt sich nach Bereinigung um verschiedene ange- dachten und diskutierten (Unter)Varianten, ein Bild von vier umsetzbaren Rollout-Szenarien, die die wesentlichen Vorgehensmodelle abdecken und im Weiteren zu bewerten sind.

Weitere Modifikationen und abweichende Ausgestaltung der Rollout-Szenarien können sich im Zuge der Entwurfs- und Ausführungs-Planung ergeben, werden aber in der Studie allein aus Übersichtsgründen nicht weiter diskutiert oder aufgelistet.

Aus der durchgeführten Betrachtung der vier möglichen Rollout-Szenarien haben sich folgende Eingangs- Handlungsempfehlungen mit den abgeleiteten Prämissen (siehe nachstehende Tabelle) ergeben, deren Herleitung im Weiteren beschrieben sind.

Tabelle 73: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AS-1	Vorgelagerte Entscheidung zur Umsetzung der Empfehlung der gemeinsamen Machbarkeitsstudie von Auftraggeber und Auftragnehmer zu dem Systemkonzept ETCS+ mit „ATO-Light“ im Betrachtungsraum (siehe Kapitel 1.3.1).	Mit dem Entscheid verbunden ist die Notwendigkeit die erforderlichen Voraarbeiten wie die Erstellung der VAST, der BAST und der TAST (letztere mit der Studie größtenteils bereits gegeben) umgehend zu beauftragen	DB AG / DB Netz, VM, VRS	10/2018
AS-2	Umgehende Klärung der Finanzierungsmöglichkeiten für die Strecken- und für die Fahrzeugausrüstung als maßgebliche Voraussetzung für Planung und Realisierung	Nutzung der “CEF Transport call for proposals” der European Commission, die für 2019 in Aussicht gestellt sind, aber eine bestehende Finanzierung erfordern.	EBA / Bund, DB AG / DB Netz, VM, VRS, EU / EC	12/2018
AS-3	Entscheidung zum Kauf zusätzlicher S-Bahn-Fahrzeuge, um die Voraussetzungen für die Umrüstung der Flotte bis 06/2025 und damit für ETCS+ zu schaffen.	Erfolgreiche Abstimmung mit Bombardier zur Nutzung der bestehenden Vertragsoptionen für Fahrzeugneubestellungen über Dezember 2018 hinaus	VRS	12/2018
AS-4	Entscheidung zur Umsetzung der Empfehlung zur Realisierung des Rollout-Szenario I mit einer stufenweisen IBN (ESTW, ETCS, ATO-Light)	Installation des empfohlenen Programmteams	DB Netz, VM, VRS,	12/2018
AS-5	Koordination bzw. Abstimmung der Projektinhalte und Vorgehensweisen für das Projekt S-		DB Netz, VM,	12/2018

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	Bahn Stuttgart mit den Parallelprojekten PSU/Stuttgart 21 und Umrüstung Regionalfahrzeuge		VRS, (Programmteam)	

Legende zur Tabelle: VM (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg); VRS (Verband Region Stuttgart); EU (Europäische Union); EC (Europäische Kommission); BAST (Betriebliche Aufgabenstellung), TAST (Technische Aufgabenstellung); VAST (Verkehrliche Aufgabenstellung)

4.1.2 Methodik

Die Bestimmung und Ausgestaltung der geeigneten Rollout-Szenarien für eine mögliche Ausrüstung des Untersuchungsgegenstandes erfolgt über:

- die Übertragung der Erfahrungswerte der Studienbeteiligten mit der LST-Ausrüstung von Strecken, die eine Inbetriebnahme von Stellwerken wie von verschiedenen Ausprägungen einer ETCS L2-Ausrüstung umfassen,
- den Transfer der Kenntnisse der DB- wie der InGe-Experten aus dem Fahrzeugbereich,
- wie auch der Auswertung der im Verlauf der Studie erhobenen Aussagen und Daten unterschiedlicher Expertengruppen (z. B. OBU- und RBC-Hersteller oder Fahrzeuglieferanten).

Die im Weiteren erforderliche Diskussion über die geeigneten Rollout-Szenarien erfolgt im Rahmen der Arbeitsgruppe „Ausrüstungsstrategie“ wie aber auch intensiv im Rahmen des übergeordneten Arbeitskreises ETCS unter Teilnahme aller Stakeholder (Anspruchsgruppen), siehe hierzu auch Kapitel 1.4.

Bei der Gestaltung der denkbaren Rollout-Szenarien sind die vorhandenen rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. bei der Vergabe, Zulassungsverfahren) insoweit beachtet, dass geprüft wurde, welche Möglichkeiten der Anwendung diese innerhalb des Handlungsspielraums und bei der Zielsetzung der IBN in 12/2025 bieten, wo Stellschrauben existieren bzw. Handlungsbedarfe abgeleitet werden können. Dazu gehört auch die Einbeziehung der vorhandenen bzw. aktivierbaren Beauftragungsmöglichkeiten z. B. durch Nutzung bestehender Rahmenverträge wie den Modulverträgen für Infrastrukturen [STW und ETCS], oder den Optionen aus dem Rahmenvertrag mit Bombardier zur Beschaffung zusätzlicher S-Bahn-Züge (siehe bspw. Handlungsempfehlung [AS-3](#)).

Ebenso erfolgt eine Berücksichtigung von Entwicklungs- und Realisierungszeiten, die u.a. aus den jüngsten vergleichbaren ETCS-Realisierungsprojekten (z. B. [VDE 8](#) und [Korridor A](#)) abgeleitet wurden bzw. auf den Detail-Vereinbarungen und Planungen innerhalb des Projektes [PSU](#) (Bahnprojekt Stuttgart – Ulm) basieren.

Im Weiteren erfolgt auch die Einbeziehung der verschiedenen Ressourcenbedarfe (z. B. für Planung, Planprüfung, Tests, Abnahmen und Inbetriebnahmen), abgeleitet über die Erfahrungswerte und die anzuwendenden Prozesse (Gesetzgebung/Verwaltungsverordnungen/Bauvorschriften, DB AG-Regelwerk), als entscheidende Größe für die Einhaltung der angesetzten Umsetzungszeiträume.

Die Zusammenfassung der verschiedenen Einflussgrößen für die zu beachtenden Realisierungsschritte und –prozesse zu den nachstehenden Rollout-Szenarien erfolgt in den Abstimmungsrunden der Arbeitsgruppe und im weiteren Projektverlauf im Arbeitskreis ETCS.

4.1.2.1 Szenarienentwicklung

Im Rahmen der Aufgabe zur Erstellung der Ausrüstungsszenarien erfolgt entlang der oben genannten Rahmenbedingungen und den technischen und prozessualen Eingangsgrößen aus den vorgelagerten Untersuchungen (siehe Kapitel 2) die Ableitung und Definition von vier denkbaren Szenarien für eine mögliche Ausrüstung des Ausrüstungsbereichs des Baustein 1 mit den relevanten Systemtechniken (siehe Kapitel 1.3).

Dies erfolgte in Abhängigkeit bzw. auf Basis der eruierten Daten zu der vorhandenen S-Bahn-Infrastruktur und der sich im Rahmen dieser Studie erarbeiteten Aussagen zu der zu planenden Ziel-Infrastruktur in dem konkreten Betrachtungsraum. Die hier relevanten Ergebnisse der AG Infrastruktur sind in Kapitel 2 zu finden. Als weitere Einflussgröße ist der von DB Regio gegebene und vorgesehene Fahrzeugpark für die S-Bahn Stuttgart zu werten (die geplante ETCS-Ausrüstung der im Betrachtungsraum ebenfalls verkehrenden Regionalfahrzeuge wird momentan im Rahmen einer weiteren Machbarkeitsstudie untersucht, stellt aber keine Vorgabe für die hier stattfindende Szenarienbestimmung dar).

Wesentliche, hier berücksichtigte Einflussfaktoren sind der jeweilige Zeitpunkt für den Beginn der nachstehenden Aktivitäten und dafür anzusetzende erforderliche Vorbereitungs- bzw. (insbesondere) Umsetzungs-Zeitraum:

- der Finanzierungsvereinbarung(en),
- der Planungsleistungen,
- der Ausschreibungen und der Vergaben,
- des jeweiligen Ausrüstungsbegins,
- der erforderlichen Zulassungsprozesse und
- der (Teil-)Inbetriebnahmen.

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, konnte die vorliegende Untersuchung belegen, dass mittels der aufgeführten Lösung „ATO-Light“ eine sinnvolle und vom betrieblichen Effekt her weitreichende Erweiterung der Ausrüstungsstrategie gegeben ist. Entsprechend ist die Ausrüstung und IBN der Fahrzeuge und der Strecke der Ausrüstungsbereiche mit der aufgezeigten, tragfähigen ATO-Variante in die Entwicklung der Rollout-Szenarien mit eingebunden.

4.1.3 Detailbeschreibung

Bei allen vier im Weiteren diskutierten Rollout-Szenarien sehen diese einen frühzeitigen Beginn der Vorbereitungs- und Umsetzungsarbeiten schon ab Ende 2018 vor. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um:

- a) die Initiierung der erforderlichen Planungsleistungen,
- b) die Erstellung der BAST – Betriebliche Aufgabenstellung (wie der VAST – Verkehrliche Aufgabenstellung)
- c) den Aufbau und der Institutionalisierung/Inkraftsetzung der benötigten (empfohlenen, siehe Kapitel 4.2.2.2.1) Projektorganisation und um
- d) die wesentlichste und vordringlichste Größe, die Finanzierungsabsicherung. Dabei wird der gesamte Handlungsspielraum für die Projektrealisierung von der erreichbaren Finanzierungsgrundlage zum Jahreswechsel 2018/2019 maßgeblich abhängen.

Die vier im Rahmen der Diskussion eruierten Rollout-Szenarien definieren sich wie folgt (siehe hierzu auch Kapitel 1.3.3):

- I. IBN ETCS+ und „ATO-Light“ auf Stammstrecke + Erweiterungsbereich I
 - Gestaffelte technische Inbetriebnahme (IBN), beginnend mit der Stammstrecke (für ETCS-Tests und Wiederinbetriebnahme der Serienfahrzeuge) bis 12/2025
 - Unabhängige, gestaffelte Erprobung und Inbetriebnahme von ETCS und „ATO-Light“ (zur Unterstützung der Fehlererkennung und -behandlung)
 - Abschluss der Fahrzeugumrüstung in 06/2025

- II. Spätere Ergänzung des Erweiterungsbereichs I
 - Gestaffelte technische und kommerzielle IBN, zunächst nur Stammstrecke (mit ETCS und ATO-Light)
 - Unabhängige Erprobung und gestaffelte IBN von ETCS und „ATO-Light“ zunächst nur auf der Stammstrecke und später auch im Erweiterungsbereich I (zur Verbesserung der Fehlerbehandlung)
 - Abschluss der Fahrzeugumrüstung in 06/2025 zur Ermöglichung des ETCS-Betriebs auf der Stammstrecke

- III. Spätere IBN ESTW/ ETCS / ATO wg. längerer Fzg.-Ausrüstung bzw. S21-Konflikt
 - Technische und kommerzielle IBN für alle drei Ausrüstungsbereich erst nach 12/2025
 - Erprobung von ETCS und „ATO-Light“ erst in 2026 und spätere IBN für alle Ausrüstungsbereiche (ggf. unabhängig voneinander zur Verbesserung der Fehlererkennung und -beseitigung) mit Vermeidung von Termin- und Ressourcenkonflikten zur IBN von Stuttgart 21
 - Erzielen des Abschlusses der Fahrzeugumrüstung erst nach 12/2025

- IV. Vorziehen der IBN danke schneller Fahrzeugausrüstung
 - Technische und Kommerzielle IBN für alle drei Ausrüstungsbereich inkl. ETCS und „ATO-Light“ vor 06/2025
 - Tests und Erprobung von ETCS+ und von „ATO-Light“ parallel zur STW-Realisierung
 - Abschluss der Umrüstung der gesamten Serien-Fahrzeuge bereits vor 06/2025

Die Szenarien stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

4.1.3.1.1 Szenario I – Gestaffelte IBN bis 06/2025

Maßgebliche Merkmale der Implementierung-Konzeption des Szenarios I sind zum einen das Ziel des Abschlusses der technischen Bereitstellung (funktionstechnische Inbetriebnahme) vor der kommerziellen Inbetriebnahme der neu mit ETCS ausgerüsteten Infrastruktur und Abschluss der Wiederinbetriebnahme aller

umgerüsteten S-Bahn-Fahrzeuge bereits zu Mitte 2025. Die kommerzielle Inbetriebnahme und damit die Aufnahme des Fahrgastbetriebes unter ETCS Sicherheitsverantwortung, erfolgt in diesem Szenario dann (erst später) zum Fahrplanwechsel in 12/2025.

Zum anderen ist ein wesentliches Merkmal des Szenarios die gestaffelte Erprobung und stufenweise (technische) Inbetriebnahme der neuen elektronischen Stellwerke in den einzelnen Ausrüstungsbereichen wie auch die ebenso vorgesehene Staffelung der Erprobung und Inbetriebnahme der ETCS-Ausrüstung (Fahrzeug und Strecke) gegenüber der ATO-Ausrüstung (Fahrzeug und Strecke). Letzteres dient vor allem der besseren Fehleridentifikation bzw. –behandlung, durch das in der Studie empfohlene Fehlermanagement, welches innerhalb der Projektorganisation im „Programmteam“ verankert werden sollte (siehe auch Kapitel 4.2.2.2.1).

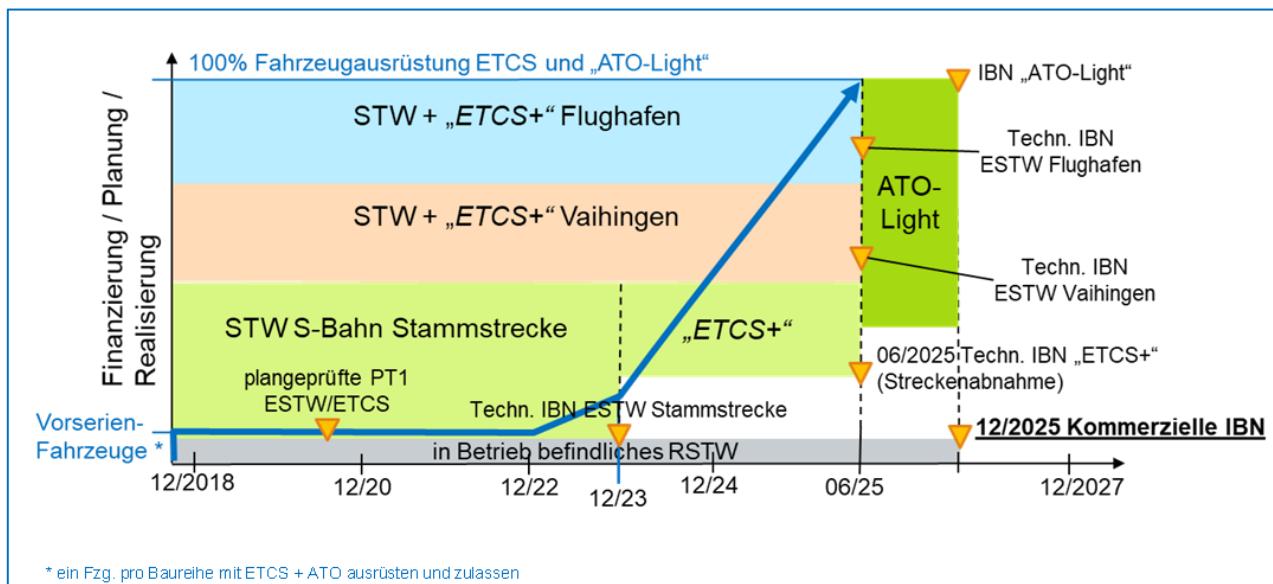


Abbildung 87: Szenario I – gestaffelte Inbetriebnahme bis 12/2025

4.1.3.1.2 Szenario II – Spätere IBN des Erweiterungsbereich (Ausrüstungsbereiche 2 und 3)

(Der Erweiterungsbereich I umfasst die Ausrüstungsbereiche Vaihingen bis Goldberg und Rohrer Kurve bis Filderstadt.)

Die Implementierungs-Konzeption für dieses Szenario beinhaltet ebenfalls eine stufenweise Inbetriebnahme, allerdings im Unterschied zu Szenario I werden hier die beiden Ausrüstungsbereiche mit den Stellwerken „Vaihingen“ und „Flughafen“ erst nach 2025 sukzessive in Betrieb genommen. Dies ermöglicht eine starke Entzerrung der Realisierung (arbeitstechnisch und zeitlich) wie eine Entlastung der einzusetzenden Ressourcen und erfährt aufgrund der dann gegebenen Doppelausrüstung der Fahrzeuge mit PZB und ETCS keine Behinderung für den Betriebsablauf. Zunächst erfolgt ein Betrieb mit ETCS (und „ATO-Light“) nur auf der Stammstrecke, während auf den Strecken der beiden anderen Ausrüstungsbereiche des Bausteins 1 zunächst weiterhin der Betrieb mit der bestehenden konventionellen Signalisierung erfolgt. Nach und nach werden die beiden Ausrüstungsbereiche dann ebenfalls mit ETCS und ATO ausgerüstet und der ETCS/ATO-Betrieb aufgenommen. Die genaue Zeitplanung müsste im Rahmen der Entwurfsplanung noch bestimmt werden.

Entsprechend der Ausgestaltung der Streckenausrüstung sind temporäre System-Übergänge zu schaffen für die Transition (Übergang) von ETCS Level 2 auf PZB (und umgekehrt), die mit der vollständigen Inbetriebnahme von ETCS (und „ATO-Light“) im Betrachtungsraum dann entfallen würden.

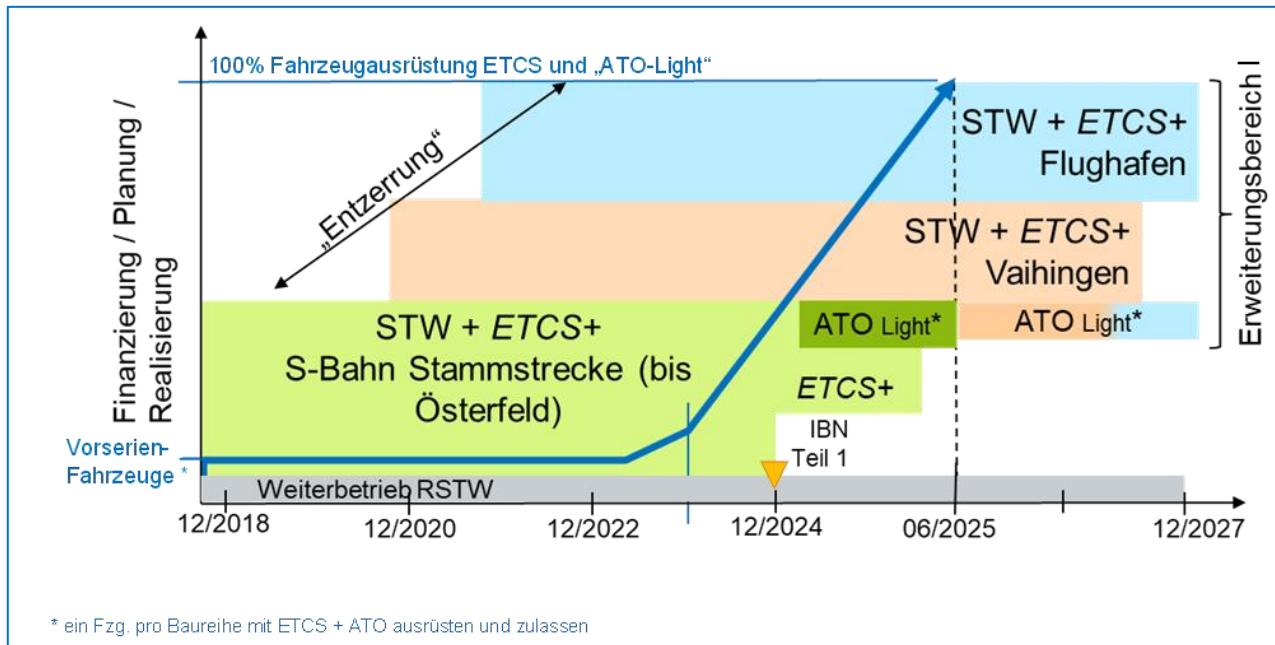


Abbildung 88: Szenario II – Spätere Inbetriebnahme des Erweiterungsbereichs

4.1.3.1.3 Szenario III – Längere Realisierungszeiten für die Fahrzeugumrüstung

Aufgrund einer antizipierten Nicht-Erreichung der kompletten Fahrzeugumrüstung der S-Bahn-Fahrzeuge bis 06/2025 (wie eingangs geplant) z. B. aufgrund fehlender Werkstattkapazitäten, längeren Entwicklungs- und Umbauzeiten für die ETCS- und ATO-Fahrzeugausstattung und/oder größerem Zulassungsaufwand für die neue Fahrzeugeinrichtung, sieht diese Implementierungs-Konzeption eine Streckung der Realisierungszeit bis Ende 2027 vor. Trotz der erst späteren Bereitstellung der Fahrzeuge wäre auch eine frühere IBN der drei Stellwerke denkbar unter Nutzung der vorgesehenen Rückfallebene PZB und über die Ks-Signalisierung (siehe hierzu auch Kapitel 2.1.3.2.1), allerdings mit einer reduzierten Leistungsfähigkeit. Dies ist aber nicht erforderlich und das Rollout-Szenario bietet so die Möglichkeit deren Umsetzung und Inbetriebnahme zeitlich zu entspannen (z. B. zugunsten anderer Projekte im Großraum Stuttgart).

Das Rollout-Szenario III wird auch als „Plan B“ geführt, da es im gewissen Sinne die Rückfalleben zu dem Rollout-Szenario I darstellt. Diese tritt ein, wenn die Umrüstungsplanung der S-Bahn-Fahrzeuge (wie auch der in den Ausrüstungsbereiche 2 und 3 verkehrenden Regionalfahrzeuge) nicht wie vorgesehen greift bzw. sich die Serienumbauten und die Wiederinbetriebsetzung der Fahrzeugflotte merklich verzögert. Daraus resultiert dann eine Gesamtverzögerung für die Einführung von ETCS und „ATO-Light“ (nur bei einer vollständigen Ausrüstung aller verkehrenden Fahrzeuge mit der entsprechenden neuen Fahrzeugausstattung ist die ETCS-/ATO-Inbetriebnahme umsetzbar) und eine entsprechende zeitliche Verschiebung des Erreichens aller Projektziele. Aus betrieblichen Aspekten heraus sind dann auch die Stellwerke erst später und in Abhängigkeit von dem realen Umsetzungspfad der Fahrzeugausstattung zu realisieren, damit der Zeitraum der reduzierten Leistungsfähigkeit so klein wie möglich gehalten werden kann.

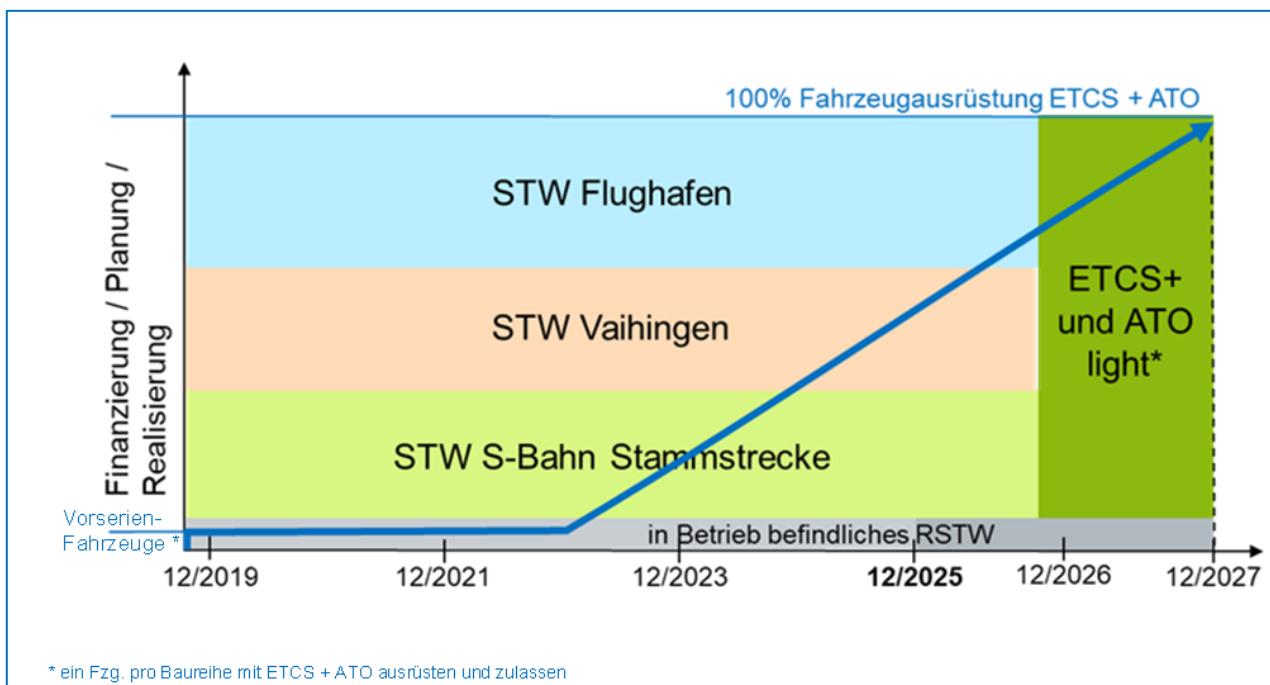


Abbildung 89: Szenario III – Längere Realisierungszeit für die Fahrzeugumrüstung

4.1.3.1.4 Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur

Dieses Szenario, adressiert eine frühzeitige Inbetriebnahme der drei Ausrüstungsbereiche auf Basis einer schon deutlich früher erreichbaren Vollausstattung der Fahrzeugflotte der S-Bahn Stuttgart und deren Wiederinbetriebnahme (nach erfolgter Bauart-Zulassung) über die First-in-Class-Fahrzeuge und ebenfalls mittels der ab 12/2022 in Betrieb befindlichen NBS Wendlingen – Ulm mit ETCS-Level-2-Baseline-3-Ausrüstung).

Das Rollout-Szenario geht dabei auch von erreichbaren schnelleren Umsetzungszeiten für die Zulassung der ETCS- und der ATO-Streckenausrüstung aus. Der genaue Zeitpunkt für eine kommerzielle Inbetriebnahme unter ETCS-Sicherheitsverantwortung und ATO-Betrieb ist hier nicht exakt festgelegt, bewegt sich aber mit seinem Projektabschluss im Bereich der ersten sechs Monate des Jahres 2025 (auch hier sind verschiedenste Abstufungen bzw. Derivate, insbesondere entlang der gesamten Zeitschiene denkbar). Die hier verfolgte Beschleunigung ist maßgeblich von der Verkürzung aller Prozesse abhängig, so dass diese entsprechend aufwändig zu steuern und zu optimieren sind. Aufgrund der zeitlichen Verkürzung (gegenüber Szenario I) ist eine stärkere Verschränkung der Umsetzung der Stellwerks-Maßnahmen und der ETCS- sowie ATO-Ausrüstung streckenseitig erforderlich (dies ist in der Abbildung 91 als parallele Vorgehensweise skizziert).

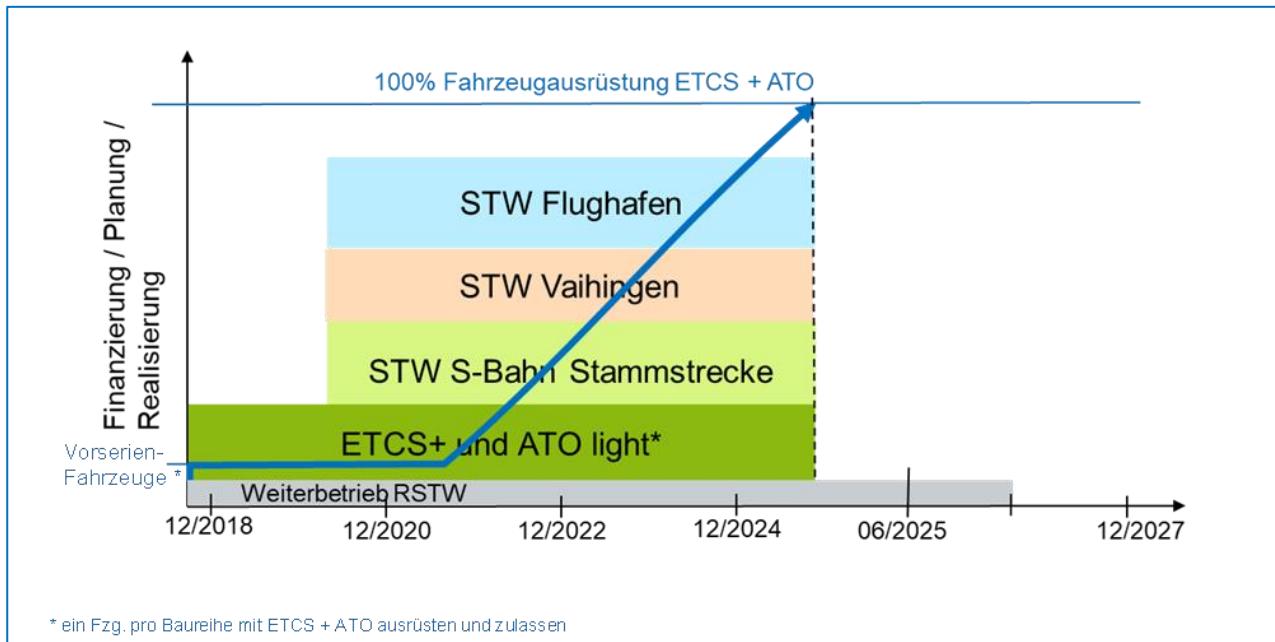
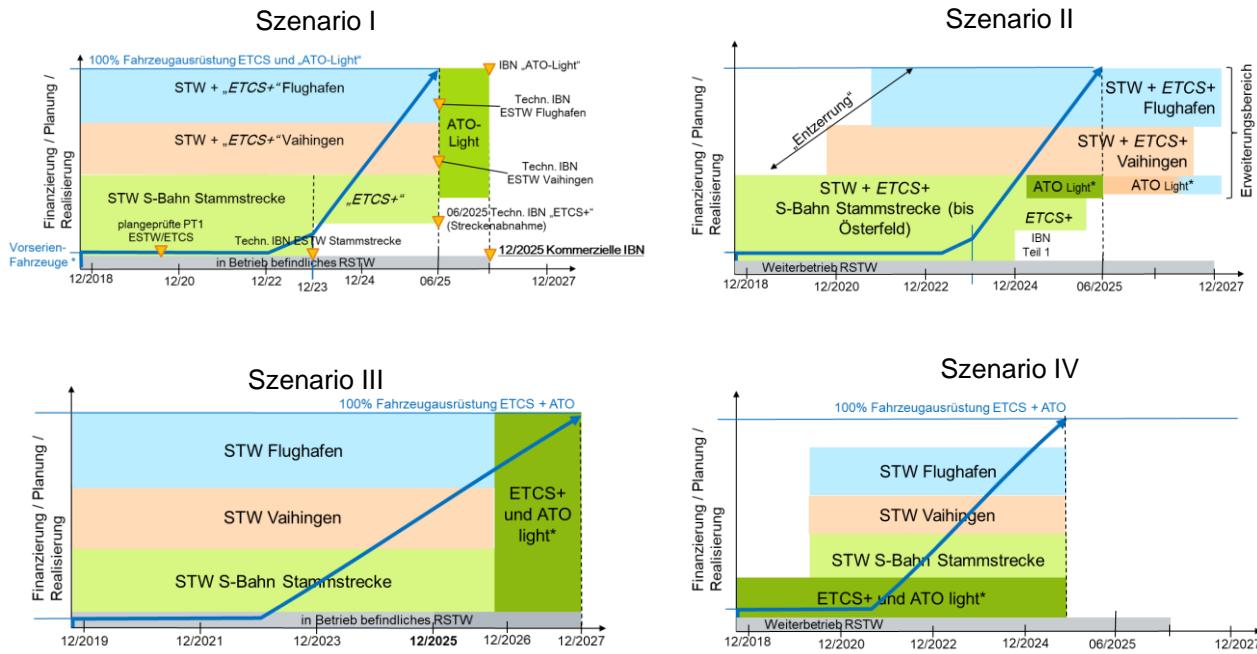


Abbildung 90: Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur

Im Überblick ergibt sich aus den vier entwickelten Szenarien das folgende Vergleichsbild:

Implementierungs-Konzeption: Szenarien-Vergleich



* ein Fzg. pro Baureihe mit ETCS + ATO ausrüsten und zulassen

Abbildung 91: Szenarien-Vergleich der Implementierungskonzeption

Anmerkung: Im Gegensatz zu Szenario I wurden bei den Skizzierungen der anderen Szenarien die verschiedenen Meilensteine nicht extra herausgearbeitet bzw. ausgewiesen, da die Präferenz für das Szenario I sich schon im Rahmen der Gestaltung der Szenarien heraustraktallisierte.

4.1.3.2 Bewertung Ausrüstungsszenarien

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspakets AP1 aus der Leistungsbeschreibung.

4.1.3.2.1 Überblick

Die in Kapitel beschriebenen Ausrüstungsszenarien zeigen im direkten Vergleich, dass unter den oben aufgeführten Rahmenbedingungen nur das Szenario I allen Anforderungen gerecht wird und eine IBN der neu ausgerüsteten S-Bahn-Infrastruktur zeitgleich zu der IBN des Großprojektes „Stuttgart 21“ bestmöglich erlaubt.

Die nachstehende Grafik zeigt, dass für das Szenario I die Vorteile für einen Betreiber überwiegen und die dafür in Kauf zu nehmenden Investitionen bzw. Aufwände durch die Nutzung gegebener Rahmenbedingungen und durch Organisationsleistungen adressiert werden können. Die Detaillierung findet sich in den Kapiteln 4.1.3.1.1 und 4.1.3.3.1. Dabei ist zu beachten, dass das Kriterium der gesicherten IBN bis 12/2025 maßgebend ist.

Szenarien-Vergleich und -Empfehlung

	Szenario I	Szenario II	Szenario III (Plan B)	Szenario IV
Pro	<ul style="list-style-type: none"> ++ IBN ETCS Stammstrecke + Erweiterungsbereich I ++ Kommerzielle IBN zeitgleich mit S21 ++ Volle erhöhte Leistungsfähigkeit ab 12/2025 + technische IBN bis 06/2025 	<ul style="list-style-type: none"> Spätere Ergänzung des Erweiterungsbereichs I + Entzerrung Realisierungs- / IBN-Kapazitäten (zu S21) ++ Erhöhte Leistungsfähigkeit ab 12/2025 der Stammstrecke + ... 	<ul style="list-style-type: none"> Spätere IBN ESTW/ ETCS / ATO wg. längerer Fzg.-Ausrüstung bzw. S21-Konflikt + Entzerrung Realisierungs- / IBN-Kapazitäten (zu S21) + Reduzierung ETCS/ATO-Realisierungsrisiken + ... 	<ul style="list-style-type: none"> Vorziehen der IBN dank schnellerer Fahrzeugausrüstung und -zulassung ++ Volle erhöhte Leistungsfähigkeit ab 12/2024 + Begrenzte Reduzierung der Realisierungskosten + ...
Contra	<ul style="list-style-type: none"> -- Beschaffung Neufahrzeuge E2018 - Wettbewerb um Realisierungskapazitäten und Ressourcen mit S21 	<ul style="list-style-type: none"> -- RBC-Erweiterung (2. SW-IBN oder 2. RBC) -- Beschaffung Neufahrzeuge E2018 - ... 	<ul style="list-style-type: none"> -- zusätzlich Folgekosten von bis über 10 Mio. € -- Erst spätere Erhöhung der Leistungsfähigkeit (ab E 2026 oder E 2027) - Längere Ressourcenbindung / Projektkosten 	<ul style="list-style-type: none"> -- Deutlich erhöhter Bedarf an Realisierungskapazitäten (parallel zu S21) -- Erhöhtes Risiko wg. Fahrzeugtests u. -IBN - Geringerer Zeitraum für Entwicklung/Beschaffung

Ergebnis: Aufgrund der Zielsetzung des Programms mit dem Bedarf der zeitlich passend zur IBN von Stuttgart 21 umgesetzten Leistungssteigerung für den Betrachtungsraum (Stammstrecke plus Erweiterung I) empfiehlt sich deutlich die Umsetzung des **Ausrüstungs-Szenarios I**.

Abbildung 92: Szenarienübersicht: Vergleich und Empfehlung

4.1.3.2.2 Methodik

Um die entwickelten Szenarien gegeneinander abzuwägen und zu bewerten hinsichtlich der Erreichung der Zielsetzungen und Berücksichtigung bzw. Erfüllung der Rahmenbedingungen werden folgende Kriterien betrachtet und anschließend bewertet (siehe Kapitel 4.1.3.3.5):

Tabelle 74: Bewertungsparameter für die Bewertung der Ausrüstungsszenarien

Bewertungsparameter	Fragestellung	Ergebnisquelle
Zeitrahmen	Über welchen Zeitraum erstreckt sich das Projekt in dem Szenario?	Abgeleitete bzw. rückwärtsbetrachtete Zeitschiene aus der Diskussion in der Projektgruppe der Machbarkeitsstudie und der Abstimmung mit Vertretern des Projektes PSU, der DB Netz AG (u.a. Bereich Großprojekte, Technologie- und Anlagenmanagement, Einkauf, u.a.) und der DB Regio; Eigene Analyseergebnis der InGe u.a. aus Rücksprache mit Planungsbüros, Eisenbahn-Bundesamt und Herstellern, sowie Eigenerfahrungen der InGe-Mitglieder.
Kosten:	Welche Projekt-/Realisierungs-Kosten entstehen durch das jeweilige Szenario der Ausrüstungsstrategie?	Herangezogen werden die Ergebnisse der Kostenabschätzung der InGe, siehe hierzu Kapitel 5.1 und 5.3
Finanzierung	Welche Anforderungen an die Finanzierung sind gegeben? Wie kann diese sichergestellt werden?	Ergebnis aus der Diskussion um Finanzierung und Förderungsmöglichkeiten in der Projektgruppe der Machbarkeitsstudie und der Abstimmung mit Vertretern des BMVI, des EBA und der DB Netz, wie innerhalb der Auftraggeber-Organisationen und mit der European Commission (hinsichtlich einer CEF-Förderung; über MaSt. Regionalfahrzeuge) wie auch mit dem Regionalverband hinsichtlich der Beschaffung weiterer S-Bahn-Fahrzeuge (aus bestehendem Rahmenvertrag).
Risiken	Welche Risiken enthält das Szenario, wie äußern sich diese? Wie kann man diesen entgegenwirken?	Ergebnisse der Diskussion in der Projektgruppe der Machbarkeitsstudie und der Abstimmungen mit Vertretern des Projektes PSU, der DB Netz (u.a. ETCS Projekt-Realisierer), der DB Regio, der Hersteller (Infrastruktur- und Fahrzeugseitig), dem EBA und Zulassungsverantwortlichen; Analyse in der InGe und Eigenerfahrungen.
Chancen	Welche Chancen bietet das Szenario, was ist erforderlich, um diese zu heben	Ergebnisse der Diskussion in der Projektgruppe der Machbarkeitsstudie und der Abstimmungen mit Vertretern des Projektes PSU, der DB Netz (u.a. ETCS-Projekt-Realisierer), der DB Regio, der Hersteller (Infrastruktur- und Fahrzeugseitig), dem EBA und Zulassungsverantwortlichen; Analyse in der InGe und Eigenerfahrungen.

Bewertungsparameter	Fragestellung	Ergebnisquelle
Zwingende Voraussetzungen	Welche Voraussetzungen müssen für das Szenario geschaffen werden?	Ergebnisse der Diskussion in der Projektgruppe der Machbarkeitsstudie und der Abstimmungen mit Vertretern des Projektes PSU, der DB Netz (u.a. ETCS-Projekt-Realisierer), der DB Regio, der Hersteller (Infrastruktur- und Fahrzeugseitig), dem EBA und Zulassungsverantwortlichen; Analyse in der InGe bzw. Ableitung aus den vorhergehenden Parametern.

Anmerkung: Betrachtet werden hier im Szenarien-Vergleich nicht die einzelnen, verschiedenen Risiken die sich aus den technischen Themen (z. B. Aspekte wie die Nicht-Offenlegung der Schnittstellen zum TCMS seitens des Fahrzeugherstellers, was dessen Beteiligung an der Nachrüstung der ETCS- und der ATO-OBUs erzwingt) und den Zulassungsprozessen ergeben und die für alle Szenarien erst einmal in gleicher Weise zutreffen. Diese Risiken sind in den Kapiteln 2.1, 2.4 und 6. adressiert und werden auch im Kapitel 4.2.2.2.4 behandelt.

Indirekt fließen diese übergreifenden Risiken-Themen in die Bewertung dann aber schon der Art ein, dass analysiert wird, inwieweit ausreichend Zeit in dem Szenario vorhanden ist für die Entwicklung der Produkte und Schnittstellen bzw. für die Zulassung der ETCS/ATO-bedingten Umrüstungen (Fahrzeuge) und Ausrüstungen (Strecke). Dies ist dann unter den Bewertungspunkten „Zeitrahmen“ und „Risiken“ jeweils mit berücksichtigt.

4.1.3.3 Detailbeschreibung

4.1.3.3.1 Bewertung „Szenario I – Gestaffelte IBN bis 06/2025“

Folgendes Bild hat die Bewertung des Szenario I ergeben:

Tabelle 75: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario I

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zeitrahmen	<p>Aufsetzen des Projektes und Projektstart unmittelbar nach Entscheidung über die in der Studie ausgewiesenen Handlungsbedarfe („Kick-off-Entscheidung“ bzw. „Startschuss“) Ende 2018. Laufzeit bis zur kommerziellen Inbetriebnahme in 12/2025: 7 Jahre.</p> <p>Die Zeitschiene für die Zulassung im Fahrzeugbereich ist über First in Class-Fahrzeuge und die Serienumrüstung gestaffelte. Die Infrastruktur-IBN der Stellwerke, von ETCS und ATO sind ebenfalls gestaffelt angelegt, auch um die erforderliche Teststrecke vor Ort frühzeitig zu erhalten und um Fehlerzuweisungen besser bis hin zur Behebung vorzunehmen.</p>	<p>Der für das Szenario anzusetzende Zeitrahmen bewegt sich im Rahmen der Zielvorgabe des Auftraggebers der Studie mit einer geplanten Inbetriebnahme in 12/2025.</p> <p>In der Betrachtung der erforderlichen Zeitschienen für die gestaffelte Zulassung im Fahrzeugbereich (First in Class und dann Serie) und die aufeinanderfolgende IBN von Stellwerken, ETCS und ATO bei der Infrastruktur (techn. IBN LST Teil 1 12/2023 mit STW für Teststrecke, techn. IBN LST 2.Teil mit STW uns ETCS 06/2025, kaufm. IBM STW ETCS und ATO in</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
		12/2025) sind die angesetzten Abläufe und Prozess zeitlich gut und jeweils mit einem Puffer im Szenario „unterzubringen“. Dies ermöglicht auch, dass den verschiedenen Abhängigkeiten ausreichend Rechnung getragen werden kann.
Kosten	Die Gesamtkosten für die Infrastruktur und Fahrzeugseite in den Ausrüstungsbereichen für den Baustein 1 belaufen sich auf 258 Mio. € bis Ende 2025, Projekt-Abschluss erfolgt zeitgleich mit dem Projekt Stuttgart 21.	Herangezogen werden die Ergebnisse der Kostenschätzung der InGe, Siehe hierzu Kapitel 5.1 und 5.3
Finanzierung	<p>Für die Zielerreichung kommerzielle IBN in 12/2025 und die stufenweise technische IBN sowie die rechtzeitige Fahrzeugumrüstung ist eine Finanzierung-übereinkunft der beteiligten Partner wie auch eine Unbedenklichkeitserklärung des Bundes (wenigstens zur Fortsetzung der Planungen) noch zum Jahreswechsel 2018/2019 erforderlich.</p> <p>Eine Finanzierungsvereinbarung zwischen Bund und Projektträgern muss dann in der ersten Hälfte 2019 erfolgen, um die termingerechten Vergaben sicherzustellen und um sich für das europäische Förderprogramm CEF zu bewerben.</p>	Die Finanzierung der Projektrealisierung stellt hier den kritischen Pfad dar, da diese sehr zeitnah belastbar vorliegen muss (noch in 2018 Grundübereinkunft der Projektpartner und UB des EBA, 2019 Finanzierungsvereinbarung Infrastruktur und Förderabkommen Fahrzeuge mit dem Bund, ggf. Erlangung von „CEF Transport“-Förderung, Call 2019).
Risiken	<p>Deutliches Migrationsrisiko aufgrund umfangreicher Parallelaktivitäten zu dem Großprojekt S21 (gleicher IBN-Zeitpunkt 12/2025) und zeitgleichem Zugriff auf identische Ressourcen (wie Planprüfer und Abnahmeprüfer).</p> <p>In diesem Szenario sind als Gegensteuerungsmaßnahme eine stufenweise technische Inbetriebnahme, beginnend mit dem ESTW der Stammstrecke, und das Vorziehen aller Streckenabnahmen für die drei Ausrüstungsbereiche bis 06/2025 vorgesehen.</p> <p>Ein weiteres Risiko mündet direkt in einer zwingenden Voraussetzung, die rechtzeitige Bereitstellung der Umgerüsteten Fahrzeugflotte, um die bestehenden Kapazitätsanforderungen, dann unter ETCS, erfüllen zu können.</p>	<p>Diesem Risiko, insbesondere hinsichtlich der benötigten und einzubindenden Ressourcen für die Planung, die Planprüfung, die Abnahme und die Inbetriebnahme, soll durch das gestaffelte Vorgehen bei der Realisierung einerseits und dem Abschluss der letzten technischen Inbetriebnahmen bereits in 06/2025 entgegengewirkt werden.</p> <p>Es bleibt aber die Notwendigkeit einer sehr aufwendigen Realisierungsplanung und deren stringente Steuerung, wofür entsprechende Ressourcen (Projektlaufplanung und Projektsteuerung) eingebunden werden müssen. Dabei ist es erforderlich immer wieder ausreichende Puffer in die Planung einzubauen. Dies betrifft die Infrastruktur wie auch die Fahrzeugseite.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Chancen	<p>Termingerechte Steigerung der Betriebsqualität bzw. Möglichkeiten zur Kapazitätssteigerung zeitgleich zur IBN S21 mit betrieblicher Nutzung ab 12/2025 (Programm-Abschluss).</p> <p>Ausreichendes Zeitkontingent für die Testphase aufgrund der technischen Teil-IBN ab 12/2023 (zuerst ESTW Stammstrecke) und späterer (technischer) ETCS-IBN.</p> <p>Ermöglichung von gestaffelten Tests und Erprobungen von ETCS und ATO u.a. zum unabhängigen Untersuchen und Analysieren bzw. Beheben von Fehlern durch Ausschluss des jeweils anderen Systems (ETCS ohne ATO Erprobung).</p>	<p>Das Szenario ist auf die Zielerreichung ausgelegt und damit auf das Verwirklichen der „rechtzeitigen“ Kapazitätssteigerung / Verbesserung der Betriebsqualität.</p> <p>Die im Szenario vorgesehene Zeitspanne für Tests erscheint im Abgleich mit den Anforderungen an Tests und Erprobung ausreichend (siehe auch Anhang 7) und auch im Vergleich zu den Erfahrungswerten aus den bisherigen ETCS-Projekten (wie z. B. VDE 8) erweckt das durchgespielte Szenario den Eindruck für die einzelnen Prozess-Schritte ausreichende Zeitumfänge bereitstellen zu können.</p> <p>Die Steuerbarkeit der Einzelschritte des Szenarios erscheint gut möglich, da weniger Parallelaktivitäten über mehrere Ausstattungsbereiche stattfinden.</p>
Zwingende Voraussetzungen	<p>Die Bestehende Aussage zur Fahrzeugverfügbarkeit mit ETCS/ATO bis 06/2025 ist noch zu erhärten (die rechtzeitige Umrüstung und die Wiederinbetriebnahme aller S-Bahn-Fahrzeuge muss bis Mitte 2025 erfolgt sein) und im projektverlauf immer wieder zu prüfen.</p> <p>Die umgehende Aufstockung des Fahrzeugpools (aus bestehender Vertragsoption) ist einzuleiten mit der Zielsetzung der Unterstützung des Serienumbaus der Fahrzeuge ab 01/2023 (Möglichkeit mehrere Fahrzeuge zeitgleich aus dem laufenden Betrieb ohne Kapazitätseinbußen für einen parallelen Umbau herauszunehmen).</p> <p>Bereitstellung der zugelassenen ETCS L2 Lastenhefte für die Streckenausrüstung (und ggf. auch die zugelassenen LH DSTW – wenn dieses hier nicht untersuchte Ziel verfolgt werden soll *) bis 12/2018.</p> <p>Bereitstellung der Planungsrichtlinie ETCS Baseline 3 ebenfalls bis 12/2018 sowie die erforderlichen Anpassungen (CR) bei Ausweitung der ETCS-Lastenhefte, als Grundlage der weiteren Planung.</p> <p>Bereitstellung der erforderlichen Ergänzungen der ETCS-Lastenhefte für den Anwendungsfall der S-</p>	<p>Die Erfüllung der zwingenden Voraussetzungen erscheint in der Analyse aufgrund der im Arbeitskreis und auf politischer Ebene bestätigten Aussagen des EVU und des EIU machbar. Dies obliegt aber maßgeblich der DB Regio für den Fahrzeugbereich (Beschaffung Neufahrzeuge, Erstellung Spezifikation für die Fahrzeugausstattung mit ETCS und ATO-Light, Bereitstellung Werkstattkapazitäten) und der DB Netz für die Infrastruktur-Spezifikationen für ETCS sowie die zugehörige Planungsrichtlinie. Für letzteres besteht das Risiko den angestrebten Abschluss nicht bis Ende 2018 zu erreichen, was aber noch kompensierbar ist. Für die Bereitstellung der zugelassenen zusätzlichen LH-Spezifikationen bis zum Beginn der Ausschreibung (Ende 2019) liegt noch keine Bestätigung vor.</p> <p>Seitens der InGe sind die vorliegenden Aussagen aber nicht anzuzweifeln und sind entsprechend in die Bewertung eingeflossen</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	Bahn Stuttgart gemäß Technologiekonzept (z. B. zugelassener CR 953 für die Verkürzung der Blockabstände) rechtzeitig vor Vergabe (auch um Realisierungsrisiken zu vermeiden).	

4.1.3.3.2 Bewertung „Szenario II – Spätere IBN des Erweiterungsbereichs“

Dieses Szenario weist folgende Aspekte auf:

Tabelle 76: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario II

Bewertungs-parameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zeitrahmen	<p>Aufsetzen des Projektes und Projektstart unmittelbar nach Entscheidung über die in der Studie ausgewiesenen Handlungsbedarfe („Kick-off-Entscheidung“ bzw. „Startschuss“) Ende 2018. Laufzeit bis zur letzten kommerziellen Inbetriebnahme in 12/2027: 9 Jahre.</p> <p>Die Realisierungszeit erhöht sich deutlich, da bspw. die erforderlichen Ressourcen auf Seiten der Planprüfer und Abnahmeprüfer nicht bereitgestellt werden können, so dass eine gestaffelte Realisierung erforderlich wird. Ziel ist es in den ersten sechs Jahren mit ETCS und ATO auf der Stammstrecke in Betrieb zu gehen, die beiden anderen Ausrüstungsbereiche folgen dann über die sich anschließenden 2 Jahre (Abschätzung).</p>	<p>Der für dieses Szenario zu veranschlagende Zeitraum überschreitet die Vorgabe des Auftraggebers der Studie mit dem vermeintlichen Ziel einer abschließenden IBN in 12/2027 um gut 2 Jahre (längere Projektlaufzeit).</p> <p>Maßgeblich resultiert dies aus der bewussten Entzerrung der STW- und ETCS-/ATO-Inbetriebnahmen von der Stammstrecke (IBN 12/2024) und den beiden zum Erweiterungsbereich I gehörenden Ausrüstungsbereichen (siehe Kapitel 4.1.1.1.1). Diese Verzögerung ist rein durch die Infrastrukturseite getrieben (Fahrzeuge müssen auch hier bis 06/2025 ausgerüstet, zugelassen und verfügbar sein.), die z. B. auch durch die erst später rentable Erneuerung eines oder mehrerer Stellwerke bedingt sein kann.</p> <p>Auch hier muss die Entwurfsplanung Klarheit über die aufgezeigte abweichende Realisierbarkeit herstellen.</p>
Kosten:	<p>Die Gesamtkosten für die Infrastruktur und Fahrzeugseite in den Ausrüstungsbereichen für den Baustein 1 belaufen sich auf mindestens 274,5 Mio. € bis Ende 2027 (die längere Realisierungszeit von 2 Jahren führt zu einer Kostenerhöhung).</p>	<p>Herangezogen werden die Ergebnisse der Kostenschätzung der InGe, siehe hierzu Kapitel 5.3.</p> <p>Aufgrund der längeren Realisierungszeit erhöhen sich die Gesamtprojektkosten</p>

Bewertungs-parameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	<p>Hinzukommen weitere zu erwartende Kosten für die anstehenden Software-Releases, allein aufgrund der sich ergebenden Projektierungsänderungen aus den gestaffelten ETCS-IBN (außer diese Mehrkosten können im Rahmen der Vergabe mit verhandelt werden).</p>	<p>mindestens um geschätzte 16,8 Mio. Euro (6,5% Kostenerhöhung). Dies resultiert vornehmlich aus dem erforderlichen längeren Weiterbetrieb des jetzigen RSTW über 12/2025 hinaus (Instandhaltung) und hier wiederum maßgeblich aus den Kosten für die damit verbundenen Umbauten an Kabelführungs-systemen und der Verkabelung selbst (aufgrund der heutigen Kabelführung entlang/querend zu anstehenden Rückbaumaßnahmen von Stuttgart 21), sowie aus Regressansprüchen der Stadt Stuttgart.</p> <p>Hinzukommen ggf. noch nicht kalkulierte Aufschläge der RBC-Lieferanten aufgrund der notwendigen Software-Releases für die schrittweise Anpassung der RBC-Projektierung. Da diese nicht abschätzbar sind, wurden diese explizit nicht ausgewiesen (währen ggf. entsprechend über den Modulvertrag auszuhandeln).</p>
Finanzierung	<p>Für das vermeintlich „kleinere“ Ziel, die Erreichung der kommerzielle IBN (nur) der Stammstrecke in 06/ oder 12/2025 mit ETCS und ATO-Light sowie die rechtzeitige Fahrzeugumrüstung bis Mitte 2025 ist eine Finanzierungübereinkunft der beteiligten Partner wie auch eine Unbedenklichkeitserklärung des Bundes (zur Fortsetzung der Planungen) noch in 2018 erforderlich.</p> <p>Eine Finanzierungsvereinbarung zwischen Bund und Projektträgern muss dann in der ersten Hälfte 2019 erfolgen, um die termingerechten Vergaben sicherzustellen und um sich für das europäische Förderprogramm zu bewerben.</p> <p>Eine Finanzierungvereinbarung für die beiden erweiternden Ausrüstungsbereiche kann begleitend, parallel oder eben zeitlich nachgelagert (unter Beachtung des notwendigen Vorlaufs vor einer weiteren Vergabe für die beiden erweiternden Ausrüstungsbereiche) erfolgen.</p> <p>Dies würde beinhalten, dass eine CEF-Förderung auch nur für den in 2018/19 finanzierten Teil des Projektvolumens beantragt werden kann. Es ist</p>	<p>Die Finanzierung der Projektrealisierung stellt hier auch den kritischen Pfad dar, da eine Finanzierung zumindest der Stammstreckenausrüstung und die für die Fahrzeug-Ausrüstung sehr zeitnah belastbar vorliegen muss (auch hier 2018 zumindest Grundübereinkunft der Projektpartner und UB des EBA, 2019 Finanzierungsvereinbarung Infrastruktur und Förderabkommen mit dem Bund).</p> <p>Die Finanzierung der ETCS/ATO-Infrastruktur-Maßnahmen für den Erweiterungsbereiche kann zu einem nachgelagerten Zeitpunkt abgestimmt und vereinbart werden, davon ausgehend, dass die Realisierungszeiten gleichbleiben und die IBN-Ziele entsprechend und entlang der betrieblichen Erfordernisse gesetzt werden (z. B. in dem hier angenommenen 2 Jahres Verlängerungszeitraum). Dies trägt bereits zu einer Entspannung in der zuerst erfolgenden Finanzierungsphase bei (verteilte Finanzierungsvereinbarungen).</p>

Bewertungs-parameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	noch zu eruieren, welchen Handlungsspielraum hier die CEF-Regelungen ermöglicht.	
Risiken	<p>Klar reduzierte Migrationsrisiko aufgrund nur geringer Parallel-Vorgängen zu dem Großprojekt S21 (es gilt für die Stammstrecke auch der gleiche bzw. dann um 6 Monate vorgezogenen IBN-Zeitpunkt, von 12/2025 ausgehend)</p> <p>Dagegen besteht hier ein Risiko in der späteren Erweiterung des in Betrieb befindlichen RBC (Weitere SW-Zulassung und –IBN mit Sperrpausen für die Einbindung des Erweiterungsbereichs I). Dies wird dann auch zu Kostenerhöhungen gegenüber anderen Szenarien führen, da diese Leistungen von den Herstellern zusätzlich angeboten werden (müssen).</p> <p>Alternativ ist auch die Einbeziehung eines weiteren, eigenen RBC für die Erweiterungsbereich I denkbar (mit erforderlicher Kanalerweiterung). Dies würde aber einen zusätzlichen Planungsaufwand beinhalten und neue Migrationsrisiken schaffen und erfahrungsgemäß auch weitere Kosten mit sich bringen (hier nicht kalkuliert).</p>	<p>Die Risikoreduzierung geht deutlich zu Lasten der Leistungsfähigkeit und damit auch einem steigenden Risiko, auf der Stammstrecke allein die herausgearbeiteten Vorteile der ETCS/ATO-Ausrüstung nicht heben zu können (z. B. kaum oder keine Kompensation von Verspätungen).</p> <p>Der zeitgleiche Zugriff auf identische Ressourcen (wie Planprüfer und Abnahmeprüfer) reduziert sich deutlich und kann durch die Projektabstimmung zu Arbeiten wie Test und Abnahmen zwischen PSU und S-Bahn sicher gut aufeinander abgestimmt werden.</p> <p>Die Nachträgliche Ausweitung der Ausrüstung auf den Erweiterungsbereich I erfordert eine längere Aufrechterhaltung der Projektorganisation und bringt einen zusätzlichen Koordinationsaufwand mit den weiteren Maßnahmen im Knoten Stuttgart mit sich.</p>
Chancen	<p>Gesicherte Inbetriebnahme der neue ausgerüsteten S.-Bahn Stammstrecke bis Österfeld mit ETCS+ und „ATO-Light“ (bis 12/2025) und somit einer termingerechten Steigerung der Betriebsqualität bzw. Möglichkeiten zur Kapazitätssteigerung zeitgleich zur IBN S21 für den Bereich der Stammstrecke.</p> <p>Möglichkeit für eine ausgiebige betriebliche Erprobung von ETCS+ (ETCS mit Teilblock) und „ATO-Light“ im S-Bahn Betrieb (u.a. zur Identifikation mit der IBN des Erweiterungsbereichs I umsetzbarer Optimierungsmaßnahmen)</p> <p>(zunächst) Besser überschaubarer Bereich für die Anwendung des Fehlermanagements mit Vermeidung von Einflüssen durch den Regionalverkehr.</p> <p>Entzerrung für die Realisierung und Abnahme/IBN der STW im Knoten Stuttgart mit der Möglichkeit der Ressourcenoptimierung, anstelle von Ressourcenkonflikten.</p>	<p>Das Szenario ist auf eine Teil-Zielerreichung für die Stammstrecke hin gestaltet und damit auf das Verwirklichen der „rechtzeitigen“ Kapazitätssteigerung / Verbesserung der Betriebsqualität auf dem derzeit am Stärksten beanspruchten Streckenteil der S-Bahn Stuttgart.</p> <p>Die Entzerrung der Realisierungsmaßnahmen, entlastet die erforderliche Projektorganisation und reduziert deutlich den Abstimmungsbedarf, insbesondere mit dem Großprojekt Stuttgart 21.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zwingende Voraussetzungen	<p>Die Bestehende Aussage zur Fahrzeugverfügbarkeit mit ETCS/ATO bis 06/2025 ist noch zu erläutern (die rechtzeitige Umrüstung und die Wiederinbetriebnahme aller S-Bahn-Fahrzeuge muss bis Mitte 2025 erfolgt sein).</p> <p>Die umgehende Aufstockung des Fahrzeugpools (aus bestehender Vertragsoption) ist hier ebenso einzuleiten mit der Zielsetzung der Unterstützung des Serienumbaus der Fahrzeuge ab 01/2023 (Herausnahme mehrere Fahrzeuge zu Umbauzwecken aus dem laufenden Betrieb ohne Kapazitätseinbußen).</p> <p>Bereitstellung der zugelassenen ETCS L2 Lastenhefte für die Streckenausrüstung bis 12/2018 (und ggf. auch die zugelassenen LH DSTW – wenn dieses hier nicht weiter untersuchte Ziel ebenfalls verfolgt werden soll *).</p> <p>Bereitstellung der Planungsrichtlinie ETCS Baseline 3 ebenfalls bis 12/2018 als Grundlage der weiteren Planung.</p> <p>Bereitstellung der erforderlichen Ergänzungen der ETCS-Lastenhefte für den Anwendungsfall der S-Bahn Stuttgart gemäß Technologiekonzept (z. B. zugelassener CR für die Verkürzung der Blockabstände) muss rechtzeitig zur Vergabe (auch um Realisierungsrisiken zu vermeiden) erfolgen.</p>	<p>Die Erfüllung der zwingenden Voraussetzungen, die auch für das Szenario II gelten und somit nicht zu einer weiteren Entzerrung beitragen, erscheint in der Analyse aufgrund der im Arbeitskreis und auf politischer Ebene bestätigten Aussagen des EVU und des EIU machbar. Dies obliegt aber maßgeblich der DB Regio für den Fahrzeughbereich (Beschaffung Neufahrzeuge, Erstellung Spezifikation für die Fahrzeugausstattung mit ETCS und ATO-Light, Bereitstellung Werkstattkapazitäten) und der DB Netz für die Infrastruktur-Spezifikationen für ETCS sowie die zugehörige Planungsrichtlinie. Für letzteres besteht das Risiko den angestrebten Abschluss nicht bis Ende 2018 zu erreichen, was aber noch kompensierbar ist. Für die Bereitstellung der zugelassenen zusätzlichen LH-Spezifikationen bis zur Ausschreibung liegt noch keine Bestätigung vor.</p> <p>Seitens der InGe sind die vorliegenden Aussagen aber nicht anzuzweifeln und sind entsprechend in die Bewertung eingeflossen</p>

4.1.3.3.3 Bewertung „Szenario III – Längere Realisierungszeiten für die Fahrzeugumrüstung“

Folgende Aspekte weist das Szenario III auf:

Tabelle 77: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario III

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zeithrahmen	<p>Aufsetzen des Projektes und Projektstart unmittelbar nach Entscheidung über die in der Studie ausgewiesenen Handlungsbedarfe (Kick-off-Entscheidung) Ende 2018.</p> <p>In diesem Szenario anzusetzende Laufzeit bis zur letzten kommerziellen Inbetriebnahme in 12/2027:</p>	<p>Dieses Szenario überschreitet ebenfalls die Vorgabe des Auftraggebers der Studie mit dem vermeintlichen Ziel einer abschließenden IBN in 12/2027 um gut 2 Jahre (längere Projektlaufzeit) aufgrund deutlich verzögter Bereitstellung der umgerüsteten Fahrzeuge. Die Begründung für den zeitlichen Mehrbedarf bis</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	9 Jahre, wobei die IBN der Stellwerke auch deutlich erst nach 12/2025 liegen.	<p>zur Vollausrüstung liegt hier voraussichtlich in einer fehlenden ausreichenden Werkstattkapazitäten für die Serienausstattung und/oder auch in den längeren Zulassungsprozessen für die neue Technik mit bislang nicht betrachteten Schnittstellen wie zwischen ETCS und ATO.</p> <p>Diese Verzögerung im Fahrzeugbereich erzeugt dann die bewusst späteren IBN der STW, um möglichst lange die volle derzeitige Leistungsfähigkeit der Strecke aufrechtzuerhalten (das technische Zielbild sieht als Zielzustand ja eine ETCS Ausstattung mit einer reduzierten Ks-Signalisierung als Rückfallebene vor). Daran schließt sich die IBN der ETCS-/ATO-Ausstattung über alle drei Ausrüstungsbereiche an (diese kann wie in den anderen Szenarien stufenweise erfolgen, aber aufgrund des bis dahin erwarteten erreichten technologischen Reifegrades wird eine Abstufung vermutlich nicht erforderlich sein).</p>
Kosten:	<p>Die Gesamtkosten für die Infrastruktur und Fahrzeugseite in den Ausrüstungsbereichen für den Baustein 1 belaufen sich auf 274,5 Mio. € bis Ende 2027 (die längere Realisierungszeit von 2 Jahren führt zu einer Kostenerhöhung). Der Mehraufwand für die Projektorganisation und -steuerung über die zusätzlichen 2 Jahre ist in den knapp 17 Mio. Euro Mehrkosten bereits enthalten.</p> <p>Nicht enthalten sind etwaige Mehrkosten, die die Hersteller bzw. die Infrastrukturlieferanten in Rechnung stellen, aufgrund der fehlenden Bereitstellung der umgerüsteten und zugelassenen S-Bahn-Züge und der Bindung von Ressourcen über einen längeren Zeitraum (als geplant).</p>	<p>Herangezogen werden die Ergebnisse der Kostenschätzung der InGe, Siehe hierzu Kapitel 5.3.</p> <p>Aufgrund der längeren Realisierungszeit erhöhen sich die Gesamtprojektkosten um geschätzte 16,8 Mio. Euro (6,5% Kostenerhöhung).</p> <p>Diese Kostenmehrung resultiert maßgeblich aus dem erforderlichen längeren Weiterbetrieb des jetzigen RSTW für 2 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (Instandhaltungsaufwand) sowie den Kosten für die erforderlich werdenden Umbauten an dem Kabelführungssystem und der Verkabelung selbst (RSTW steuert dann nur noch einen Teil der vorherigen Stelleinheiten), sowie aus zu erwartenden Regressansprüchen der Stadt Stuttgart.</p> <p>Ein weiterer Posten liegt in der längeren Projektlaufzeit und den damit verbunden</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
		<p>sich erhöhenden Projektdurchführungs-kosten. Eine Erhöhung des Sicherheitsab-schlags ist hier nicht vorgesehen.</p> <p>Zudem sind mit Nachträgen seitens der Infrastrukturlieferanten aufgrund der längeren Bindung im Projekt zu erwarten.</p>
Finanzierung	<p>Die Sicherstellung der Finanzierung steht im Ver-gleich zu den anderen Szenarien unter einem deut-lich geringeren Zeitdruck und muss zunächst nur für die First-in Class Entwicklungs-, Ausrüstungs- und Zulassungskosten abdecken. Ggf. ist es erforderlich, dass die Finanzierung auch schon zeitnah die ersten Infrastrukturmaßnahmen abdeckt, die in den drei Ausrüstungsbereichen S-Bahn Stuttgart mit Rück-wirkung auf das Großprojekt Stuttgart 21 zwingend erforderlich sind. Dies wäre im Rahmen der weite-ren Entwurfsplanung zu klären, die durch die erste Finanzierung mit abzudecken ist.</p> <p>Für die weitere Infrastrukturausrüstung mit der Stellwerkserneuerung und der Umsetzung von ETCS und ATO sowie die ETCS/ATO-Ausrüstung der Serienfahrzeuge, ist die Finanzierung im Verlauf des kommenden Jahres sicherzustellen. Zu beachten sind hier die Rahmenbedingungen der CEF-Förde-rung auf europäischer Ebene für den anstehenden Call in 2019, wenn diese genutzt werden soll.</p>	<p>Für den frühestmöglichen Beginn der län-ger andauernden Fahrzeugumrüstung (deutlich über 06/2025 hinaus) ist eine Fi-nanzierungszusage zumindest für die Entwicklung und Ausrüstung der beiden First-in-Class Fahrzeuge (je Fahrzeugbau-reihe eins) mit ETCS und ATO bereits jetzt zum Jahreswechsel 2018/2019 zwingend erforderlich, um den ohnehin längeren Zeitbedarf für die Serienumrüstung frü-hestmöglich starten zu können. Eine Be-schränkung der Finanzierung auf die En-gineering- und Umrüstungs-Leistungen der First-in-Class Fahrzeuge birgt vermut-lich weitere Kostenrisiken aufgrund der unsicheren Folgebeauftragung für den Erstausrüster und ggf. Anpassungskosten für die Serienausrustung.</p> <p>Die Finanzierung der Infrastruktur und der Ausrüstung der Serienfahrzeuge kann im Verlauf des Folgejahres 2019 ange-gangen werden, da die Infrastrukturmaß-nahmen nicht auf dem zeitlich-kritischen Pfad liegen und die Serienausrustung auch erst die First-in-Class-Realisierung erfordert.</p>
Risiken	<p>Zentrale Annahme in diesem Szenario ist die län-gere Ausrüstungszeit der Serienfahrzeuge deutlich über den erklärten Zielpunkt 06/2025 hinaus.</p> <p>Weitere Risiken stecken in der längeren Projektlauf-zeit und der damit verbundenen längeren Ressourcen-bindung. Aus diesen resultieren steigende Pro-jektkosten (sind hier nicht weiter untersucht, da auch abhängig von der noch zu bestimmenden Aus-gestaltung der Organisation).</p>	<p>Die größte Auswirkung wird das Risiko der ausbleibenden Leistungserhöhung an Ende 2025 haben, da hier von den Betrei-bern entsprechende Ersatzmaßnahmen umzusetzen sind, um den Kapazitätsbe-darf anderweitig zu handhaben.</p> <p>Der zeitgleiche Zugriff auf identische Res-sourcen (wie Planprüfer und Abnahme-prüfer) reduziert sich deutlich und kann durch die Projektabstimmung zu Arbei-ten wie Test und Abnahmen zwischen der Stuttgart-21-Fernbahn und S-Bahn sicher gut aufeinander abgestimmt werden.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	<p>Die erst später gegebene Erhöhung der Leistungsfähigkeit (ab Ende 2026 oder Ende 2027) über den Betrachtungsraum des Baustein 1 stellt ein weiteres Risiko dar, das mit dem Szenario eingegangen wird.</p> <p>Die Migrationsrisiken sind hier vergleichsweise gering, da ausreichend Zeit für die Planung und Organisation der Ausrüstung der Strecke und der Serienfahrzeuge besteht.</p>	<p>Die organisatorischen und ressourcen-technischen Risiken aus der längeren Projektlaufzeit sind durch die beteiligten Unternehmen auszusteuern und fallen daher nicht sehr negativ ins Gewicht.</p> <p>Zu beachten ist, dass aufgrund des mehr an Realisierungszeit, nicht automatisch auch längere Lieferzeiten entstehen und dass die Lösungsfindung stet vornagtrieben wird.</p>
Chancen	<p>Deutliche Entzerrung der erforderlichen Realisierungsmaßnahmen über die drei Ausrüstungsbereiche bzw. im Knoten Stuttgart und Reduzierung des „Drucks“ für den Abschluss der Fahrzeugausstattung. Es ist ein deutlich höherer Erfahrungsgewinn erzielbar, der wiederum in andere Projekte einfließen kann.</p> <p>Eine Fahrzeugaufstockung wie sie für Szenario I und II erforderlich ist, ist hier nicht notwendig (solang keine größeren Ausfälle von Fahrzeugen drohen), in diesem Szenario wird nur von einem Fahrzeug pro Baureihe ausgegangen, dass nicht zur Verfügung steht und in der Werkstatt zur Umrüstung gefahren wird.</p> <p>Verzüge z. B. im Rahmen der Entwicklung und Zulassung der neuen Technologien führen nicht direkt zu einer Erhöhung des Anspannungsgrades im Projekt, sondern reduzieren zunächst nur großzügiger eingeplante zeitliche Puffer. Gegensteuerung bei entstehendem Verzug können wesentlich kontrollierter und zeitlich gestreckt vorgenommen werden.</p> <p>Die Erprobung kann ganz nach Bedarf leichter ausgedehnt werden bzw. umfassender stattfinden. Ggf. können auch (weitere) Tests die für andere Projekte/Bahnen von Belang sind ebenfalls mit stattfinden, wodurch der Innovationscharakter des Projektes und die Bedeutung im Rahmen der Digitalen Schiene Deutschland deutlich steigt.</p> <p>Das Szenario ermöglicht auch eine breitere Staffelung von Tests und Erprobungen von ETCS und ATO, so dass die Fehleranalyse und -beseitigung bzw. die Bauartbetreuung noch mehr unterstützt wird.</p>	<p>Das zusätzliche Zeitkontingent, das das Szenario mit sich bringt, kann gut für die Entwicklung der technischen Lösungen und die Umrüstung bzw. das Erwirken der Zulassungen genutzt werden.</p> <p>Ebenso kann die erforderliche Regelwerksfortschreibung besser vorgenommen werden und die Ressourceneinsatzzeiten besser abgestimmt werden.</p> <p>Möglich ist auch ein besseres Handhaben der Tests und der Erprobungen (im Rahmen der Produktzulassung) wie auch der Umsetzung der Aufgaben des Fehlermanagements.</p> <p>Aufwendige Gegensteuerungsmaßnahmen zu Verzügen können vermehrt ausbleiben bzw. müssen nicht so umfangreich sein, da deutlich mehr Pufferzeiten eingeplant werden können.</p> <p>Zudem besteht die Möglichkeit für die Analyse der geeigneten Zusatz-Funktionen für die S-Bahn mehr Zeit bereitzustellen.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zwingende Voraussetzungen	<p>Laufende Überprüfung der Zeitschiene für die Fahrzeugumrüstung, um die späteren Realisierungsziele absichern zu können.</p> <p>Termingerechte Bereitstellung der zugelassenen ETCS L2 Lastenhefte für die Streckenausrüstung und Zusatzfunktion wie sie z. B. durch ATO bedingt sein können (ggf. auch für zum Einsatz kommende, zugelassene LH DSTW), hier voraussichtlich bis Ende 2020.</p> <p>Termingerechte Bereitstellung der Planungsrichtlinie ETCS Baseline 3 als Grundlage der weiteren Planung (noch abzustimmen).</p> <p>Bereitstellung der erforderlichen Ergänzungen der ETCS-Lastenhefte für den Anwendungsfall der S-Bahn Stuttgart gemäß Technologiekonzept (z. B. zugelassener CR für die Verkürzung der Blockabstände) rechtzeitig zur ggf. später erfolgenden Vergabe</p>	Die Einhaltung der aus den zwingenden Voraussetzungen resultierenden Maßnahmen und Zeitschienen ist auch hier erforderlich, erfordert größtenteils aber einen geringeren Anspannungsgrad.

4.1.3.3.4 Bewertung „Szenario IV – Vorgezogenes Umrüstungsende von Fahrzeug und Infrastruktur“

Dieses Szenario zeichnet sich durch die nachstehenden Daten aus:

Tabelle 78: Bewertungsergebnisse des Ausrüstungsszenario IV

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Zeitrahmen	<p>Aufsetzen des Projektes und Projektstart unmittelbar nach Entscheidung über die in der Studie ausgewiesenen Handlungsbedarfe (Kick-off-Entscheidung) Ende 2018.</p> <p>Laufzeit aufgrund einer angenommenen früheren Verfügbarkeit der umgerüsteten Fahrzeuge und früher erreichten Bereitstellung der Streckenausrüstung (gegenüber der Planung in Szenario I) bis zur letzten kommerziellen Inbetriebnahme in 12/2024 - 03/2025: ca. 6 Jahre.</p> <p>Die Planung enthält hier keine zeitlichen Puffer.</p>	<p>Der für dieses Szenario zu veranschlagende Zeitraum unterschreitet die Vorgabe des Auftraggebers der Studie mit dem vermeintlichen Ziel einer abschließenden IBN in 12/2024 um gut 1 Jahr (kürzere Projektlaufzeit).</p> <p>Entscheidend hierfür ist eine Beschleunigung und enge Taktung der erforderlichen Aktivitäten, die durch zahlreiche Steuerungsmaßnahmen erzielt werden müssen.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
Kosten:	<p>Die Gesamtkosten für die Infrastruktur und Fahrzeugseite in den Ausrüstungsbereichen für den Baustein 1 belaufen sich auf 258 Mio. € bis Ende 2024/1.Q 2025, Projekt-Abschluss erfolgt deutlich vor der IBN des Großprojektes Stuttgart 21.</p>	<p>Herangezogen werden die Ergebnisse der Kostenschätzung der InGe, Siehe hierzu Kapitel 5.1 und 5.3</p> <p>Inwieweit hier sich Beschleunigungskosten noch addieren, muss die weitere Entwurfsplanung und die Organisationsplanung des Programmteams ermitteln. Es ist aber anzunehmen, dass deutlich zusätzliche Kosten erforderlich sind, um den engen Zeitplan einzuhalten und die erforderlichen Ressourcen bereit zu stellen.</p>
Finanzierung	<p>Für die Zielerreichung kommerzielle IBN in 12/2024 und die stufenweise technische IBN sowie die rechtzeitige Fahrzeugumrüstung ist eine Finanzierung-übereinkunft der beteiligten Partner wie auch eine Unbedenklichkeitserklärung des Bundes (wenigstens zur Fortsetzung der Planungen) noch zum Jahreswechsel 2018/2019 erforderlich.</p> <p>Eine Finanzierungsvereinbarung zwischen Bund und Projektträgern muss dann in der ersten Hälfte 2019 erfolgen, um die termingerechten Vergaben sicherzustellen und um sich für das europäische Förderprogramm CEF zu bewerben.</p>	<p>Die Finanzierung der Projektrealisierung stellt auch hier den kritischen Pfad dar, da diese sehr zeitnah belastbar vorliegen muss, zumal für die Projektumsetzung ein gutes Jahr fehlt (noch in 2018 Grundübereinkunft der Projektpartner und UB des EBA, 2019 Finanzierungsvereinbarung Infrastruktur und Förderabkommen Fahrzeuge mit dem Bund, ggf. Erlangung von „CEF Transport“-Förderung, Call 2019).</p>
Risiken	<p>Gemindertes Migrationsrisiko gegenüber dem Großprojekt S21 (späterer IBN-Zeitpunkt 12/2025) und versetztem Zugriff auf die erforderlichen Ressourcen (wie Planprüfer und Abnahmeprüfer) durch das Vorziehen aller erforderlichen Maßnahmen.</p> <p>In diesem Szenario sind zahlreiche Maßnahmen zu parallelisieren, um die gegenüber dem Szenario I deutlich vorgezogene kommerzielle Inbetriebnahme zu ermöglichen. Dies erfordert einen hohen Koordinationsaufwand und ermöglicht keinen Spielraum für Verzögerungen in der Umsetzung gegenüber der Meilensteinplanung.</p> <p>Bei einem eingetretenem Terminverzug bestehen somit nur geringe Kompensationsmöglichkeiten während das Risiko, das ab einem gewissen Zeitpunkt, bspw. Aufgrund der dann bereits anderweitig beanspruchten Ressourcen, sogar das IBN-Ziel 12/2025 nicht mehr erreicht werden kann und der</p>	<p>Die Notwendigkeit einer sehr aufwendigen und ambitionierten Realisierungsplanung und deren stringente Steuerung, wofür entsprechende Ressourcen (Projektablaufplanung und Projektsteuerung) eingebunden werden müssen, steht bei diesem Szenario IV vorne an. Da kein Puffer eingeplant werden kann, ist dieses Szenario für das Programmteam sehr herausfordernd und wird erhebliche Mehrkosten für die Steuerung erfordern.</p> <p>Das Szenario ist auch nicht als Rückfall-ebene für eines der anderen betrachteten Szenarien geeignet.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	<p>Umsetzungsabschluss sich direkt zeitlich weiter nach hinten verschiebt, deutlich steigt.</p> <p>Ein ohnehin gegebenes Risiko der rechtzeitigen Bereitstellung der Umgerüsteten Fahrzeugflotte, um die bestehenden Kapazitätsanforderungen, dann unter ETCS, erfüllen zu können, wird hier noch gesteigert, da die Bereitstellung schon deutlich früher (wenigstens 6 Monate vorher) erfolgen muss.</p> <p>Ein weiteres Risiko liegt auch in den sich verkürzenden Testphase, so dass nicht alle Tests absolviert werden können, oder mit entsprechendem Aufwand anders getaktet werden müssen.</p>	
Chancen	<p>Steigerung der Betriebsqualität bzw. Möglichkeiten zur Kapazitätssteigerung bis zu 1 Jahr vor der IBN S21 mit betrieblicher Nutzung ab 12/2024 bzw. 03/2025 (Programm-Abschluss).</p> <p>Die frühe Inbetriebnahme ermöglicht umfangreiche Erfahrungen mit dem System zu gewinnen, bevor der Knoten Stuttgart erweitert wird (ab 12/2025).</p>	<p>Die im Szenario sich ergebende Möglichkeit der Erfahrungsgewinnung stellt eine interessante Chance dar, aber der erforderliche Aufwand diese Chance zu nutzen ist deutlich höher als in den Vergleichsszenarien.</p>
Zwingende Voraussetzungen	<p>Die Bestehende Aussage zur Fahrzeugverfügbarkeit mit ETCS/ATO bis 06/2025 ist noch weiter zu entwickeln mit einem Ziel der Bereitstellung in 12/2024 (die rechtzeitige Umrüstung und die Wiederinbetriebnahme aller S-Bahn-Fahrzeuge muss bis Ende 2024 erfolgt sein).</p> <p>Die umgehende Aufstockung des Fahrzeugpools (aus bestehender Vertragsoption) ist ebenfalls einzuleiten mit der Zielsetzung der Unterstützung des Serienumbaus der Fahrzeuge schon vor 01/2023 (Möglichkeit mehrere Fahrzeuge zeitgleich aus dem laufenden Betrieb ohne Kapazitätseinbußen für einen parallelen Umbau herauszunehmen).</p> <p>Bereitstellung der zugelassenen ETCS L2 Lastenhefte für die Streckenausrüstung (und ggf. auch die zugelassenen LH DSTW – wenn dieses hier nicht untersuchte Ziel verfolgt werden soll *) bis 12/2018.</p> <p>Bereitstellung der Planungsrichtlinie ETCS Baseline 3 ebenfalls bis 12/2018 sowie die erforderlichen Anpassungen (CR) bei Ausweitung der ETCS-Lastenhefte, als Grundlage der weiteren Planung.</p> <p>Bereitstellung der erforderlichen Ergänzungen der ETCS-Lastenhefte für den Anwendungsfall der S-</p>	<p>Die Erfüllung der zwingenden Voraussetzungen erscheint in der Analyse aufgrund der im Arbeitskreis und auf politischer Ebene bestätigten Aussagen des EVU und des EIU nur bedingt machbar. Dies zielt in erster Linie auf die vorgezogene Bereitstellung der ausgerüsteten Fahrzeuge ab und muss auf Basis der bisherigen Aussagen angezweifelt werden.</p> <p>Inwieweit, durch eine Erhöhung der Werkstattkapazitäten und einer Priorisierung gegenüber der Umrüstung der Fahrzeuge des Regionalverkehrs diese „beschleunigte“ Vorgehensweise realisierbar werden lässt ist durch die Ausführenden (DB Regio) zu prüfen.</p>

Bewertungsparameter	Szenario-Inhalte	Bewertung/Einschätzung
	Bahn Stuttgart gemäß Technologiekonzept (z. B. zugelassener CR 953 für die Verkürzung der Blockabstände) rechtzeitig vor Vergabe (auch um Realisierungsrisiken zu vermeiden).	

4.1.3.3.5 Bewertungsergebnis

In der Zusammenfassung ergeben sich folgende Bewertungsergebnisse für die vier (exemplarisch) betrachteten Roll-out-Szenarien der Ausrüstungsstrategie:

Tabelle 79: Bewertungsergebnisse aller vier Ausrüstungsszenarien

Bewertungsparameter	Szenario I	Szenario II	Szenario III (Plan B)	Szenario IV
Zeitrahmen	+ (+)	-	--	++
Kosten (Höhe)	+	--	-	+
Finanzierung (zeitlich)	-	+	++	--
Risiken (Umfang)	+/-	+	-	--
Chancen (Umfang)	++	+	+	-
Zwingende Voraus-setzungen (Umfang)	+	+	++	--
Umsetzbarkeit *	Ja	Ja	Nein	Nein
Schlussfolgerung	Ermöglicht (Chance) die Vollausstattung der drei Ausrüstungsbereiche mit ETCS und ATO und damit die Erreichbarkeit der anvisierten Leistungssteigerung, allerdings sind auch hier Prämisse zur Risikominderung zu erfüllen	Bietet trotz höherer Kosten zumindest die Möglichkeit der IBN der Stammstrecke mit ETCS und ATO aufgrund der ausgerüsteten Fahrzeuge (und einer späteren IBN des Erweiterungsbereichs I) und mehr Entzerrung der Realisierung	Bietet die besten Möglichkeiten für die erforderliche Realisierung der Finanzierung und das Erfüllen der einzuhaltenden Prämisse, geht aber mit höheren Kosten und einer viel späteren Leistungssteigerung einher	Dem zwar deutlichen aber überschaubaren Zeitgewinn stehen erhebliche Risiken und erreichbare Prämisse gegenüber, so dass die Umsetzbarkeit wenig wahrscheinlich ist

*Umsetzbarkeit: Erreichbarkeit einer möglichst mit der IBN des Großprojektes Stuttgart 21 im Einklang stehende kommerzielle IBN der ETCS-/ATO-Ausrüstung

Tabelle 79 zeigt noch einmal (grob zusammengefasst) auf, wo die Schwerpunkte und die Vorteile der einzelnen Szenarien liegen, welche Aspekte besonders beachtet werden müssen und welches Bild sich für die Empfehlung zu den Szenarien ergibt.

4.1.4 Ableitung Entscheidungsempfehlungen

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA3 des Arbeitspaketes AP1 aus der Leistungsbeschreibung.

Der kritische Pfad wird für alle Rollout-Szenarien bestimmt durch die Notwendigkeit der Eingangsfinanzierung der empfohlenen bzw. eruierten Ausrüstung des Betrachtungsgegenstandes (Strecke und Fahrzeuge).

Weiterhin ist die umgehende Schaffung der weiteren identifizierten Grundlagen für die Umsetzung der Rollout-Szenarien, wie der Aufbau und die Ausstattung einer geeigneten übergreifenden Projektorganisation mit ausgeprägten Schnittstellen in das Großprojekt Stuttgart 21 und zu den Bedarfsträgern über die empfohlene Einrichtung eines Steuerkreises (siehe hierzu Kapitel 4.2.2.2.1), eine wesentlich Voraussetzung.

Nach dem der Finanzierungsaspekt, der Grundvoraussetzung für den Rollout ist, in allen vier Szenarien als gleichwertige Eingangsgröße wirkt und nur bedingt unterschiedliche Prämissen mit sich bringt, stellt die Entwicklung der Fahrzeugausrüstung mit ETCS und ATO bis hin zur Umsetzung der Serienausstattung aller Fahrzeuge den bestimmenden Aspekt wie auch den kritischen Pfad für die Umsetzung des geeigneten Szenarios dar.

Somit liegt hier auch ein Schwerpunkt der Prämissen. So z. B. die ausreichenden und lokal orientierten Umrüstungskapazitäten für die Fahrzeuge (zur Vermeidung von aufwendigen und zeitraubenden Überführungs fahrten und den damit verbundenen Kosten und Ressourcenbedarfen). Oder auch die rechtzeitige Bereitstellung (nicht nur die theoretische Verfügbarkeit aufgrund der erfolgte IBN der mit ETCS Baseline 3 ausgerüste Strecke) der Test- und Inbetriebnahmestrecken einerseits für die First-in-Class-Fahrzeuge, wie auch andererseits später für die vor Ort-Abnahme der Serienfahrzeuge (im Rahmen deren Zulassung).

Wie schon in der Übersicht in Kapitel 4.1.3.2.1 ausgeführt und in Kapitel 4.1.3.3.5 dokumentiert, ist das Rollout-Szenario I definitiv das geeignetste Szenario, um:

- 1) die Zielsetzung einer kommerziellen Inbetriebnahme von ETCS und ATO-Light für die drei Ausrüstungsbereiche zu erreichen und
- 2) dabei die beste Möglichkeit zu haben, durch die entsprechende Abstimmung der Maßnahmen zueinander, genügend Spielraum für die erforderliche Entwicklung und die Zulassung der neuen Technologien zu erreichen.

Insbesondere die erforderliche aber eingehbare Kombination und Abstimmung aus Infrastrukturausrüstung und Fahrzeugausrüstung sowie die jeweilige Zulassung eröffnen nach heutigem Sachstand nur über dieses Szenario die Möglichkeit die angestrebte Leistungsfähigkeit auch wirklich ab 12/2025 bereitstellen zu können.

Maßgebend ist für favorisierende Bewertung des Szenarios I insbesondere die Aufnahme des kritischen Pfads durch die stufenweise technische IBN der Strecke-Ausrüstung beginnend mit dem Teil 1 der Stellwerks-IBN in 12/2023 für den Abschnitt, in dem die ETCS-Streckentests ab 01/2024 mit den dann bereits umgerüsteten und zugelassen First-in-Class Fahrzeugen mit ETCS erfolgen. Während auf der gemäß heutiger Planung mit ETCS Level 2 Baseline 3 bis 12/2022 in Betrieb genommenen Neubaustrecke Wendlingen - Ulm ab 01/2024

die ETCS-Zulassung und Wiederinbetriebnahme der ab 01/2023 nach und nach umgerüsteten Serienfahrzeuge erfolgt, kann parallel auf dem Testabschnitt der Stammstrecke das Zusammenspiel ETCS-Streckenausrüstung und ETCS-Fahrzeug umfassend kontrolliert getestet und die ETCS Strecken-Zulassung vorbereitet werden. Die sukzessive Abarbeitung der Testfälle und der Erprobung kann unter Hinzunahme der ersten zugelassenen Serienfahrzeuge sogar intensiviert bzw. beschleunigt und ausgebaut werden. Etwaige Probleme im Zusammenspiel von Strecke und Fahrzeuge oder gar eventuelle Softwarefehler auf den Fahrzeugen, sollen so rechtzeitig erkannt und noch im Umrüstungszeitraum für alle Fahrzeuge angepasst werden können.

Auf dieser Erkenntnisbasis erfolgen dann die weiteren Erprobungen und anschließenden technischen Inbetriebnahme der Stellwerke und der ETCS-Ausrüstung für den gesamten Ausrüstungsbereich bis 06/2025 (IBN LST Teil 2), so dass sich die gesamte Test-, Erprobungs- und Zulassungsphase über 18 Monate erstreckt. Diese Intensität wie auch Flexibilität auf Hindernisse reagieren zu können, mit dieser gestaffelten Vorgehensweise, findet sich nur im Szenario I wieder, was eindeutig für das hier skizzierte Vorgehen spricht.

Hinweis: Sollte aus widrigen Umständen heraus das für 12/2025 im Szenario I vorgesehene, kommerzielle IBN-Ziel mit den neuen Stellwerken in Verbindung mit der geplanten ETCS-Ausrüstung und zusammen mit der gleichfalls erforderlichen, abgeschlossenen Fahrzeugumrüstung und -wiederinbetriebnahme nicht erreicht werden, so kann im Sinne einer Überleitung oder verzögerten Migration über den im Bericht herangezogenen RSTW-Weiterbetrieb und unter Beachtung der dadurch anfallenden zusätzlichen Kosten (siehe hierzu in diesem Bericht das „Kapitel 5.3.4.2 - Zentraler Betrachtungsraum“, „Tabelle 101: Detaillierte Kostenstruktur des zentralen Betrachtungsraums“ sowie im Anhang 6, das „Kapitel 2.2 Mehrkosten Inbetriebnahme nach 2025“), gesichert die bestehende Infrastruktur für die S-Bahn weiterbetrieben werden. Eine solche Fortsetzung des Betriebs (die auch in den Szenarien II und III betrachtet sind), welcher auch Dank der dann bestehenden Doppelausstattung der Fahrzeuge möglich ist, ist begrenzt auf das bisherige Leistungsvermögen und wäre dann solange auch kostentechnisch aufrecht zu erhalten, bis die anvisierten Inbetriebnahme-Ziele der neuen LST-Infrastruktur bzw. die der Fahrzeugumrüstung verlässlich umgesetzt und seitens der Aufsichtsbehörden freigegeben sind.

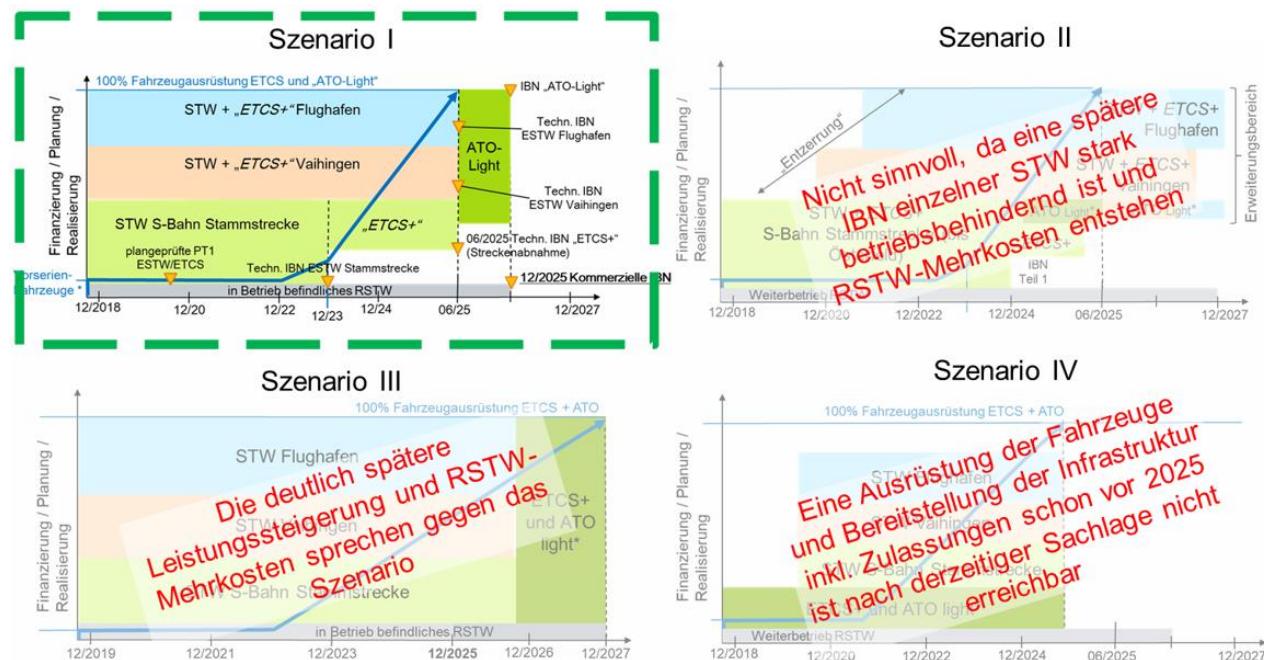


Abbildung 93: Szenarien: Vergleich und Empfehlung für Szenario I

Ambitioniert bleibt das Vorhaben allein aufgrund der Komplexität und dem sich daraus auch ableitenden hohen Koordinations- und Organisationsaufwands für die der erforderlichen Maßnahmen auf Infrastruktur- und Fahrzeugseite sowie deren erforderliches Zusammenspiel bei den Tests und der Erprobung im Rahmen der Zulassungserwirkung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit für eine geeignete Projektorganisation bspw. mit der Installation verantwortlichen Systemintegrators, dem empfohlenen Fehlermanagement und mit den entsprechenden Handlungsspielraum.

4.2 Schwerpunkt Prozessdesign

Dieses Kapitel entspricht dem Arbeitspaket 3 „Prozessdesign“ aus der Leistungsbeschreibung.

Das Kapitel „Schwerpunkt Prozessdesign“ gliedert sich in zwei Themenbereiche, die den Hauptaufgaben aus der Leistungsbeschreibung folgen. Der Erste Teil befasst sich mit den maßgebenden Prozessen für die Umsetzung des empfohlenen Rollout-Szenarios aus der Ausrüstungsstrategie und der zweite Teil mit den Empfehlungen in Richtung einer geeigneten Projektorganisation und der sich ergebenden Rollout-Planung (Roadmap). Das Kapitel schließt dann mit einer Betrachtung der Projektrisiken. Abweichend von der sonstigen Struktur des Dokuments, sind die Handlungsempfehlungen hier des besseren Verständnisses wegen, in den einzelnen Unterthemen ausgewiesen, aber in Kapitel 1.5.2.9 zusammengefasst dargestellt.

4.2.1 Analyse Prozesse, insbesondere Genehmigungsprozess

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA1 des Arbeitspakets AP3 aus der Leistungsbeschreibung.

Im Wesentlichen konzentriert sich diese Aufgabe auf die Analyse bzw. Untersuchung der Prozesse für:

- Durchführung von erforderlichen Tests
- Zulassung der Infrastruktur (ETCS und ATO)
- Zulassung der Fahrzeug-Umrüstung (ETCS/ATO und Schnittstelle TCMS)
- Einkaufs- und Vergabeprozesse

Eine eingehende Untersuchung der relevanten Prozessthemen für die Realisierung der Maßnahmen und Umsetzung in der noch zu bestimmenden Projekt-Organisation (siehe hierzu auch Empfehlung für Projektorganisation in Kapitel 4.2.2) ist nicht Teil dieser Betrachtung. Dies ist auch nicht sinnvoll, da zum jetzigen Zeitpunkt dieses Themenfeld von zu vielen Faktoren und Entscheidung seitens der Projekt-Beteiligten abhängt und durch teils sehr unterschiedlichen Klärungsbedarfen bestimmt wird, wie z. B. die erreichbare Finanzierung und der jeweilige Beitrag der Projektbeteiligten hierzu, die aber noch nicht eindeutig beschrieben sind.

4.2.1.1 Durchführung von erforderlichen Tests

Ziel des Prozesses zur Bestimmung und Durchführung von Test ist es auszuweisen, welche Tests sind für die Erreichung der Zielsetzung erforderlich, wie sind diese umzusetzen und wo können diese stattfinden.

Dazu ist im Zuge des Auftrags zur Machbarkeitsstudie ein Testkonzept erstellt und abgestimmt worden, das hier referenziert wird. Siehe hierzu die weiteren Ausführungen im Anhang 7 „Testkonzept“.

Aus der Betrachtung des Prozesses „Test- und Erprobung“ ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

Tabelle 80: Handlungsempfehlungen für die Durchführung von Tests

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AT-1	Rechtzeitige Sicherstellung der Nutzung der empfohlenen Strecke Berlin-Dresden als Teststrecke für die Zulassung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge auf einer ETCS Baseline 3-Strecke	Inbetriebnahme der Strecke Berlin – Dresden gemäß Planung der 1. Baustufe zum 04.12.2020. Einrichtung eines Testkorridors (ggf. Zusatzkosten) für die Fahrzeugzulassung, der die erforderlichen Streckentests erlaubt.	DB Regio, DB Netz, Programmteam	Spätestens ab 12/2021
AT-2	Sicherstellung der termingerechten Bereitstellung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge an der Teststrecke.	Rechtzeitige Umrüstung der beiden First-in-Class-Fahrzeuge und Abschluss der erforderlichen Labortests zur Durchführung der Test- und Erprobungsfahrten im Zuge der Zulassung der Fahrzeugausrüstung mit ETCS und ATO.	DB Regio, Programmteam	Spätestens ab 12/2021
AT-3	Termingerechte Bereitstellung der vorgesehenen „Teststrecke“ im Knoten Stuttgart für die Durchführung der Tests der ETCS-Streckenausrüstung und Bereitstellung der in Betrieb genommenen ETCS-Strecke Wendlingen – Ulm für die Tests und die Zulassung der Serienfahrzeuge beider S-Bahn-Baureihen	Fertigstellung der Stellwerkserneuerung für den Teststreckenanteil und Installation der ETCS-Streckenausrüstung in diesem Bereich (vorgesehene technische IBN STW in 12/2023 für Test der ETCS-Ausrüstung ab 01/2024 [vor IBN])	DB Netz, Programmteam	Ab 01/2024
AT-4	Für die ATO wird empfohlen, ATO-Tests erst durchzuführen, wenn für ETCS eine gewisse Stabilität nachgewiesen wurde, da die Tests (Testfallbeschreibung, Testdurchführung, Testdokumentation) und die Fehlersuche deutlich komplexer werden, wenn ETCS und ATO gemeinsam getestet werden.	Die technische IBN von ETCS kann termingerecht erfolgen, so dass ausreichend Zeit für die Erprobung und IBN von ATO bleibt.	DB Regio, DB Netz, Programmteam	Ab 06/2025
AT-5	Grundsätzlich sollte ein Systemintegrator der DB Netz etabliert werden, der in die Durchführung aller nachfolgend beschriebenen Tests federführend mit einbezogen wird. Der Systemintegrator	Umsetzung der empfohlenen Organisation mit einem festen Systemintegrator (Integration Fahrzeug – Strecke und Integration der neuen Technik)	DB Regio, DB Netz, Programmteam, ggf. auch Dritte	Ab 2018

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	sollte auch die Vorgaben für die Durchführung der Tests erstellen.	im System S-Bahn) von Anfang an.		
AT-6	Labortests der First in Class Fahrzeuge sollt der Fahrzeugausrüster durchführen. Es wird auch empfohlen eine Beteiligung des Programms ETCS S-Bahn Stuttgart (inkl. der DB Regio und des Projektes PSU) vertraglich zu vereinbaren.	Einheitlicher Fahrzeugausrüster; wenn es nicht der Fahrzeughersteller ist, ist dieser in die Umsetzung der Tests mit einzubinden (muss vermutlich ohnehin erfolgen aufgrund der nicht offen gelegten Fahrzeug-Schnittstelle Train Control and Management System (TCMS))	DB Regio, Programmteam	Ab 2Q. 2021
AT-7	Die Labortests der Strecke sollten der Streckenausrüster durchführen. Es wird auch hier empfohlen eine Beteiligung des Programms ETCS S-Bahn Stuttgart (inkl. der DB Regio und des Projektes PSU) vertraglich zu vereinbaren.		DN Netz, Programmteam	Ab 01/2022
AT-8	Aus Sicht des Programms sind Fehler/Abweichungen der Teilsysteme relevant, welche sich auf das betriebliche Verhalten und die Sicherheit des Gesamtsystems auswirken. Daher wird empfohlen, diese Fehler/Abweichungen im programmeigenen Fehlermanagement Fahrzeug – Strecke vom Systemintegrator zu behandeln.	Einrichten eines Fehlermanagements mit allen einzubeziehenden Stakeholdern (Hersteller, Betrieb, Technologiemanagement, Großprojekte, Gutachter, EBA, ...).	Programmteam	Ab 01/2021
AT-9	Da es für die ATO keine betrieblichen Szenarien gibt, wird empfohlen, betriebliche Szenarien zu erstellen, die als Grundlage für die betriebliche Systemvalidierung dienen.	Idealerweise sind diese betrieblichen ATO-Szenarien Grundlage der Ausschreibungsunterlagen Fahrzeugausrüstung und ATO-Anteil RBC.	DB Regio, RVS, (DB Netz)	Ab 2019
AT-10	Grundsätzlich wird empfohlen frühzeitig ein grobes Abnahmee- und Inbetriebsetzungskonzept unter Einbeziehung des wahrscheinlich zukünftigen Abnahmeprüfers zu erstellen. Dieses Konzept muss jede Bauphase beinhalten und muss Fragen beantworten.	Bestimmung der Abnahmeprüfer und gesonderte Beauftragung des Konzepts an noch zu bestimmende Fachleute.	Programmteam, DB Netz	Ab 2021

4.2.1.2 Zulassung der Infrastruktur (ETCS und ATO)

Folgender Sachstand und abgeleitete Aufgaben ergeben sich für die infrastrukturseitige ETCS- und ATO-Ausrüstung im Rahmen der Zulassungsthematik:

- Die Zulassung der ETCS-Streckenausrüstung erfolgt gemäß der aktuellen und schon in Projekten umgesetzten Verwaltungsvorschrift NTZ (Neue Typzulassung von Signal-, Telekommunikations- und elektrotechnischen Anlagen, Stufe 2 (VV NTZ ÜGR Stufe 2), Ausgabe 1.1, gültig ab 01.07.2016).
- Die Zulassung der erforderlichen Baseline 3 ETCS-Lastenhefte für ETCS Level 2 erfolgt derzeit nach der oben benannten VV NTZ.
- Für die Anforderungen der S-Bahn Stuttgart sind zusätzliche Lastenheftspezifikationen teilweise noch zu entwickeln und/oder zuzulassen (nach VV NTZ). Hierzu gehören auch die eventuell erforderlichen ATO-Anteile für das RBC, zu denen es noch einer Untersuchung bedarf und die dann ggf. spezifiziert werden müssen.
- Eine Zulassung dieser benötigten Ergänzungen zu den derzeitigen ETCS-Lastenheftständen, wie z.B. der bereits fachgeprüfte CR 953 zur Realisierung der Minimalen Teilblockabstände von bis zu 30 Metern, kann gemäß der Release-Planung des Technologiemanagements der DB Netz (I.NPS 3) frühestens zu 09/2019 erfolgen.
- Diese wäre dann noch rechtzeitig zur uneingeschränkten Berücksichtigung in den Ausschreibungunterlagen für den bislang geplanten Vergabe der ETCS-/ATO-Infrastruktur beginnend ab 01/2020 (siehe hierzu Kapitel 4.2.2.2.2).
- Die Finalisierung (inkl. Begutachtung) und Freigabe der zu den ETCS-Lastenheften gehörenden Planungsrichtlinie 819.1344 Baseline 3 ist aktuell geplant mit einem wenige Monate betragenden Nachlauf zu den prüferklärten ETCS-Lastenheften. Auf dieser Basis kann eine Erstellung der erforderlichen Planung (PT1) erfolgen und geprüft werden.
- Für die zusätzlich benötigten S-Bahn-bedingten Anforderungsspezifikationen sind die entsprechenden Change Requests zur Planungsrichtlinie umgehend zu erstellen und freizugeben (bzw. parallel zu der Erstellung der Anforderungsspezifikationen), um die bestehende Version der PlanRil 819.1344 zu ergänzen und die dann vorliegende Planung ggf. zeitnah anzupassen.
- Für den streckenseitigen Anteil von ATO (ATO-TS) liegt noch keine Spezifikation vor. Diese ist wie in der Handlungsempfehlung ATO-5 ausgewiesen entsprechend durch die DB Netz AG zu erstellen und eine Zulassung zu erwirken. Es handelt sich bei ATO-TS um einen Server, der die aus dem Fahrplanung abgeleiteten statischen Profile verwaltet und entsprechend dem Bedarf die sich ergebenden Journey Profiles an die Fahrzeuge überträgt. ATO-Trackside (ATO-TS) ist ein autarker Server ohne Verbindung zum RBC, womit es sich bei dem ATO-System nachweislich nicht um ein sicherheitsrelevantes System handelt (Einordnung als SIL-0-System). Daher ist eine Zulassung nach der VV NTZ nicht erforderlich, sondern es muss die Rückwirkungsfreiheit des Servers nachgewiesen werden, was durch den Lieferanten dann erfolgen sollte. Das Vorgehen ist auch mit der Aufsichtsbehörde vorbesprochen, muss aber durch das Projektteam noch final abgestimmt werden.

- Anmerkung zu STW: Die Zulassungsthematik für Stellwerke ist nicht Teil der Aufgabenstellung für dieses Kapitel. Festzuhalten ist aber, dass, wie im Kapitel 2 ausgeführt, die vorgesehene ETCS-Ausrüstung mit ESTW wie auch mit den neuen DSTW realisierbar ist. Für die Anwendung von ESTW mit RBC-Anbindung liegen bereits nach VV NTZ zugelassenen Stellwerkslastenhefte (F1, F8, F12) und die entsprechenden Planungsrichtlinien vor. Das ebenfalls erforderliche Lastenheft für die Schnittstelle ETCS-System - Stellwerk, das Lastenheft SCI-RBC, ist Teil der in Zulassung befindlichen ETCS-Lastenhefte. Eine Pflichtenheft- und Produktzulassung für die ESTW erfolgt dann im jeweiligen Projekt nach BAU-STE. Die DSTW Lastenhefte liegen hingegen bislang noch nicht zugelassen vor. Die hierfür erforderlichen Verfahren selbst sind aber nicht Teil dieser Machbarkeitsstudie und daher hier auch nicht weiter betrachtet.

Aus der Betrachtung des Prozesses „Zulassung Infrastruktur“ für ETCS und ATO-TS ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen

Tabelle 81: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Infrastruktur

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AIZ-1	Sicherstellung der Freigabe der aktuellen, begutachteten ETCS-Lastenhefte mittels Prüferklärung als belastbare Beauftragungsgrundlage	Voraussetzungen für die Prüferklärung sind gegeben (LH und Nachweisdokumentation mit Gutachten sind vollständig und abgeschlossen)	DB Netz (I.NPS 32)	Bis Ende 2018
AIZ-2	Sicherstellung der Finalisierung, Begutachtung und Freigabe der passfähigen ETCS-Planungsrichtlinie 819.1344 (zu den aktuell freizugebenden ETCS-Lastenheften)	Prüferklärte generische Lastenhefte ETCS Level 2 Baseline 3	DB Netz (I.NPS 32)	Bis 02/2019
AIZ-3	Prüfung der Entwurfsplanung gegen die freigegebene Planungsrichtlinie und ggf. Anpassung der EP zur Übergabe an PT1 Planer	Freigegebene generische Plan-Ril 819.1344 BL3 (per TM)	Planer (EP)	Bis 04/2019
AIZ-3	Prüfung der zugelassenen ETCS-Lastenhefte für Baseline 3 und der zugehörigen Planungsrichtlinie auf Ergänzungsbedarf für die S-Bahn Stuttgart entsprechend den identifizierten Anforderungen	Vollständige Anforderungsübersicht von ETCS+ an das RBC (Funktionsbasis)	DB Netz (I.NPS 32), Programmteam	Bis 02/2019
AIZ-4	Sicherstellung der Entwicklung und Zulassung der für die S-Bahn-Infrastruktur auf Basis der	Abschluss der Zulassung der ETCS LH-CR wie zur Verkürzung	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche Bereich)	09/2019

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
	empfohlenen technischen Lösung mit ETCS+ und „ATO-Light“ erforderlichen Ergänzungen in der Lastenheftspezifikation	der Teilblockabständen (CR 953) Entwicklung der LH-CR zur Berücksichtigung von ATO in der RBC-Spezifikation („ATO-Light“) durch die zuständige ETCS-Fachabteilung	ATO), Programmteam	
AIZ-5	Prüfung auf Erfordernis und ggf. Erstellung und Freigabe (Rückwirkungsfreiheit) Lastenheft ATO-TS (mit Anbindung an Kommunikationsmodul für die Übertragung der Journey Profile gemäß Empfehlung/weiterer Planung)	Anforderungen an ATO-TS liegen abgestimmt vor <i>Siehe hierzu auch Handlungsempfehlung „ATO-5“</i>	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche Bereich ATO), Programmteam	09/2018
AIZ-6	Erstellung und Freigabe der Ergänzungen zur Planungsrichtlinie 819.1344 BL3 für die erforderlichen ETCS LH-CR (mit ATO-TS)	Zugelassene ETCS-Lastenheft-CR	DB Netz (u.a. I.NPS 32 und verantwortliche Bereich ATO)	11/2019
AIZ-7	Anpassung der Planung aufgrund der hinzugekommenen Planungsgrundlagen (CR-basiert)	Vollständige ergänzende Planungsgrundlagen (CR)	PT1-Planer	12/2019
AIZ-8	Sicherstellung der Vermeidung von Abweichungen von der Spezifikation durch den Lieferanten in der Pflichtenheft und/oder Produktphase und falls Abweichungen erforderlich sind, durch vertraglich vorgegeben vollständige Nachweisführung nach VV NTZ durch den abweichenden Lieferanten, auch gegenüber Drittssystemen (verantwortliche Wahrnehmung der Systemintegration und der damit verbundenen sicherheitlichen Nachweisführung).	Zugelassene ETCS-/ATO-Lastenhefte, Entsprechende Ausschreibungsvorgaben bzw. eindeutige Leistungsanforderungen für die Vergabe sind erstellt und werden Vertragsbestandteil	Programmteam, DB Netz (I.NPS 32)	Ab 10/2020

4.2.1.3 Zulassung der Fahrzeugumrüstung (ETCS/ATO und TCMS-Schnittstelle)

Die Zulassungsfragen für die Fahrzeugumrüstung stellen sich aktuell, im Gegensatz der Betrachtung der Infrastrukturseite, etwas komplexer dar. Derzeit ergibt sich zur Zulassung der anvisierten Fahrzeugausrüstung folgendes Bild und sind die nachstehenden Handlungserfordernisse gegeben.

- Die Zulassung der nachträglichen Ausrüstung der Fahrzeuge nur mit ETCS-Fahrzeuggeräte (OBU) würde entsprechend dem erprobten IBG-Verfahren für die umfangreiche Umrüstung und Erneuerung von strukturellen Teilsystemen erfolgen, dass bislang in § 9 TEIV geregelt ist und in der Verwaltungsvorschrift für die Genehmigung zur Inbetriebnahme von Eisenbahnfahrzeugen gemäß §§ 6 ff TEIV im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes (VV IBG Fahrzeuge) behandelt.
 Da sich aber zwischenzeitlich mit der Einführung der EIGV nicht nur die Grundlage für die Zulassung geändert hat, sondern die Projektbetrachtung auch eine Zulassung der ATO-OBU erfordert, ist an die Zulassungsfrage differenzierter heranzugehen.
- Der Rechtsrahmen für die Zulassung der Fahrzeuge der S-Bahnflotte nach Umrüstung mit ETCS und ATO (zusätzlich zum PZB-Bestandssystem) steht im Grunde heute noch nicht fest. Die neue gültige Zulassungsvorschrift, die Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung (EIGV) ist am 11.08.2018 in Kraft getreten. Daher benötigen Fahrzeuge, die auf dem regelspurigen Eisenbahnsystem im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes eingesetzt werden und für die die Übergangsregelung einer Genehmigung nach TEIV aufgrund bereits gestellter Anträge nicht zu trifft, nach aktuellem Sachstand eine Inbetriebnahmegenehmigung nach der EIGV.
- Dies trifft für die geplante bzw. erforderliche Wiederinbetriebnahme der S-Bahn Fahrzeugflotte nach Umrüstung auf ETCS und ATO zu.
- Allerdings kann abweichend hierzu über die Projekt-Zeitschiene stattdessen noch eine IBG nach dem Vierten Eisenbahnpaket erforderlich werden, dies ist aber laut aktueller EBA Auskunft noch völlig unklar, da zurzeit man weder die genaue Ausgestaltung noch den Inkraftsetzungstermin kennt. Hieraus entsteht ein entsprechendes Projektrisiko.
- Entscheidend bei der Zulassung nach EIGV ist, dass sich die Rolle des EBA verschiebt: Weniger operative Prozessbegleitung, dafür mehr in Richtung Prozessüberwachung. Die eigentliche Verantwortung liegt beim Antragsteller. Das EBA selbst hält nur noch die Prüfung der Vollständigkeit der Nachweise nach.
- Die in der EIGV festgelegten maximalen Fristen sind vier Wochen zur Bestätigung der Vollständigkeit und im positiven Falle weitere 12 Wochen zur Genehmigung (Nach Ablauf ohne Rückmeldung gilt der Antrag automatisch als genehmigt). In der Praxis dürfte die Genehmigung selbst nur wenige Tage beanspruchen. Unabhängig davon empfiehlt es sich aufgrund der fehlenden Erfahrungen mit dem Prozess auf Antragstellerseite wie auf Seiten der beteiligten Behörden und Institutionen, die im Rollout-Plan vorgesehenen neun Monate für die Zulassung der First in Class-Fahrzeuge der beiden Baureihen zur Erlangung der Inbetriebnahmegenehmigung und der Bauartzulassung beizubehalten.

Die Zulassung der Serienfahrzeuge kann dann auch unter der EIGV wie bisher nach § 6 der TEIV per Inbetriebnahmegenehmigung auf Basis der gültigen Bauartzulassung und der Übereinstimmungserklärung des Antragstellers erfolgen (siehe Abbildung 94).

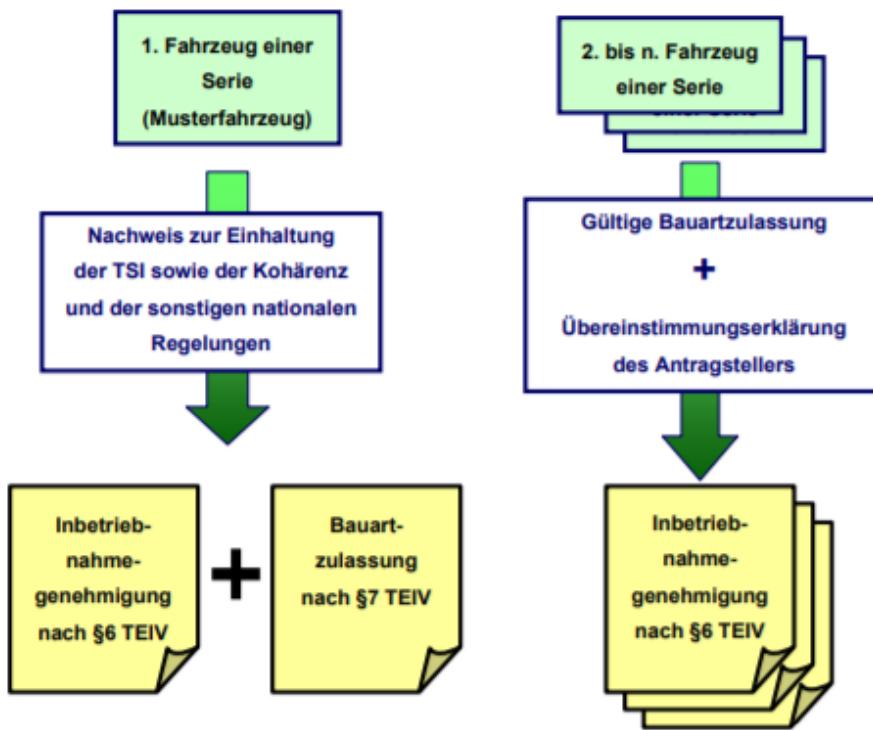


Abbildung 94: Vereinfachte IBG aus Basis einer Bauartzulassung, Quelle: VV IBG Fahrzeuge, EBA 2010

- Da es sich nicht um eine vorgeschriebene Fahrzeugausrüstung mit ETCS handelt, sondern um einen Einbau und Umbau der fahrzeugseitigen Sicherungsanlage mit dem Zweck durch ETCS die Leistungsfähigkeit zu verbessern und das vorhandenen PZB-System nach jetzigem Abstimmungsstand auf den Fahrzeugen erhalten bleibt, ist nach dem nachstehenden Schaubild (Abbildung 95) zu verfahren (siehe blau-gestrichelte Umrandung).
- Inwieweit für die beiden betroffenen Fahrzeugbaureihen im Zuge der Ausrüstung der Fahrzeuge mit ETCS- und ATO-OBUs ein Ersatz der bestehenden PZB-Fahrzeugausrüstung durch ein Specific Transmission Module (STM) im Rahmen des ETCS-Konzeptes zu betrachten bzw. zu prüfen, ist eine Frage der Ausschreibungsgestaltung und der Zielsetzung des Ausschreibenden. An dieser Stelle ist nur festzustellen, dass aus der Erfahrung gesagt werden kann, dass ein EVC mit STM Anbindung zwar technisch sehr umfassend und universell einsetzbar ist, die Implementierung selbst und für die Komponenten sehr aufwendig ist. Zudem ist die STM-Lösung wirtschaftlich oft nicht sinnvoll, insbesondere bei einfachen Zugsicherungssystem-Alternativen mit kostengünstiger Anbindungs möglichkeit je nach Kundenanforderung über die Integration ETCS-DMI / ZS-DMI bzw. ETCS-JRU / ZS-JRU oder einen Parallelbetrieb.

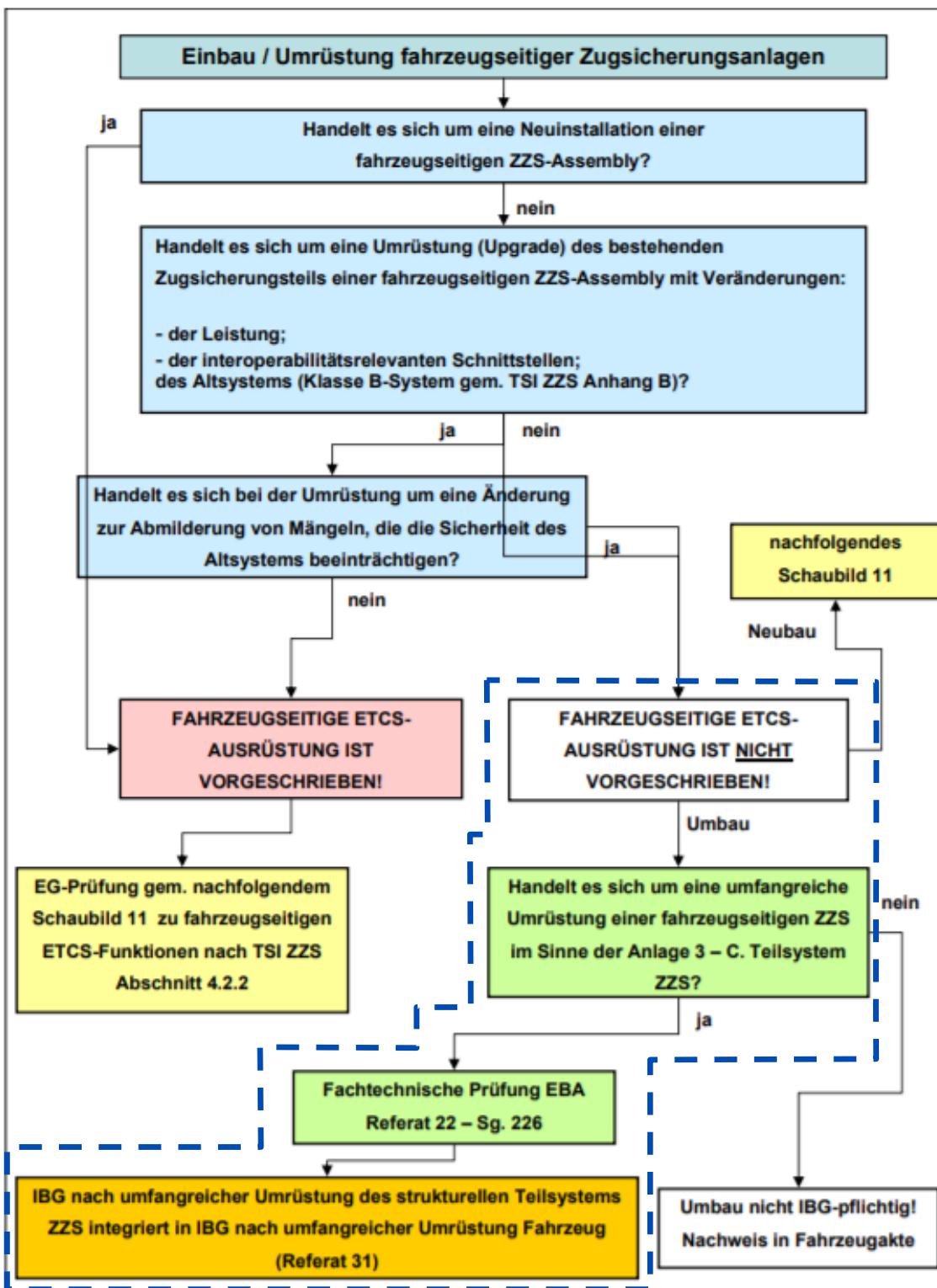


Abbildung 95: Einbau/Umrüstung fahrzeugseitiger Zugsicherungsanlagen (ZZS), Quelle: BB IBG, EBA 2010

- Die große Unbekannte in diesem Projekt liegt allerdings bei ATO auf der Fahrzeugseite. Wie in Kapitel 2.4.2.3 zu ATO ausgeführt liegen die ATO-spezifischen, europäischen Standards (u.a. mit den Subset 125, 126 und 130) derzeit nur im Entwurf vor, mit der Absicht einer Konsolidierung Anfang 2019 und

dem Ziel einer Veröffentlichung der zugehörigen „Technical Opinion“ der ERA, womit die Standards in geltendes Recht überführt würden. Der ERA-Zeitplan sieht eine Aufnahme der ATO-Spezifikation in die TSI CCS erst für 2022 vor.

- Entsprechend gibt es auch derzeit keine belastbare Spezifikation auf Lastenheftebene, noch gibt es überhaupt Erfahrungen von einer nachträglichen Implementierung in Bestandsfahrzeuge.
- ATO muss laut Eisenbahnbundesamt zwar nicht zwingend als Notified National Technical Rules (NNTR) von einer „Benannten beauftragte Stelle“ (Designated Body – DeBo) zertifiziert werden. Wenn die ATO-Spezifikation europäisch notifiziert wird, was mit der Ende 2019 vorgesehenen „Technical Opinion“ der ERA gegeben wäre, dann ist eine „Benannte Stelle“ (Notified Body – NoBo) für die Zertifizierung zuständig.
- Hinsichtlich der erforderlichen Erstellung des Antrags auf Zulassung muss der Antragsteller nicht zwingend das EVU sein, nach EIGV §9 kann dies ebenso der Fahrzeughersteller sein. Wenn nun im Rahmen der Vergabe die Ausübung der Generalunternehmerschaft durch den OBU-Lieferanten erfolgt, kann das EVU die Antragstellerverantwortung per Vertrag auch an den GU übertragen.
- Der NoBo in Deutschland muss auch nicht zwingend das EBC sein. Es sind auch andere, auch ausländische Organisationen möglich, z. B. Arsenal Wien, so dass Ressourcenengpässe hier vermieden und Organisation eingebunden werden können, die bereits Erfahrungen mit der Zulassung von ATO-Systemen haben.

Einen besonderen Punkt in Sachen Zulassung stellt die Projekt-abhängige Schnittstellen-Anpassungen dar. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Für jeden einzelnen Fahrzeugtyp gibt es spezifische Schnittstelle
- Einfache Schnittstelle erlaubt oft reine ETCS-SW Projektierung
- Komplexe Schnittstelle erfordert meist ETCS-SW/HW Anpassung. Dies bedeutet dann eine aufwändige Re-Zertifizierung des ETCS-Fahrzeuggeräts. Allerdings ist eine Reduktion des Aufwands möglich durch Anpassung des Fahrzeugs an das ETCS-Fahrzeuggerät. Dies bedingt dann eine ETCS-Lieferant-spezifische „Standard“-Fahrzeug-Schnittstelle für die OBU. Gegebenenfalls ist dies zumindest für die neu zu bestellenden Fahrzeuge denkbar bzw. verhandelbar.
 - Jede neue Kombination des ETCS-Fahrzeuggerät und Fahrzeug erfordert (seitens des Herstellers):
 - Eine spezifische Sicherheitsanalyse der Schnittstelle
 - Die Integrationstests mit dem jeweiligen Fahrzeugtyp
 - Nationale Zulassung(en) im Einsatzbereich des Fahrzeugs

Aus der Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller Bombardier der Baureihen 430 und 423 hat sich allerdings gezeigt, dass eine wichtige Voraussetzung für die „freie“ Integration von ETCS und ATO auf dem Fahrzeug die notwendige Offenlegung der Schnittstelle zum Train Control and Management System (TCMS) nicht gegeben ist. Inwieweit eine Kooperation mit dem Fahrzeughersteller erreicht werden kann, um den Einsatz von OBU weiterer Hersteller einsetzen zu können ist durch das Programmteam und die Ausschreibende Stelle zu klären. Dies hat aber einen wesentlichen Einfluss auf den Zulassungsprozess und dessen Komplexität und die zu beteiligenden Parteien.

Abschließend ist zu beachten, dass ebenso wie bei der Infrastruktur die Gültigkeit von Regeln (v.a. TSI) sich immer auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme beziehen. Das bedeutet, dass die aktuelle TSI beim Projektstart nicht zwingend die gültige TSI bei der Inbetriebnahmegenehmigung (IBG) ist.

Wenn sich eine Regelung im Projektverlauf ändern sollte, sollte in der Regel ein „Hoch-zertifizieren“ mittels einer Deltaprüfung für die betroffenen Teilsysteme möglich sein. Dies ist dann mit der Aufsichtsbehörde und den Zulassungsstellen geeignet abzustimmen.

Tabelle 82: Handlungsempfehlungen für die Zulassung der Infrastruktur

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AFZ-1	Erstellung eines Zulassungskonzeptes als Rahmen für die Ausschreibungsanforderungen	Weitere Rücksprache mit den Zulassungsbehörden zur Anwendung der Zulassungsverfahren und der erzielbaren Abgrenzungen	DB Regio, VRS, Programmteam	Ab 12/2018
AFZ-2	Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller die Offenlegung der TCMS-Schnittstelle für die Integration von ETCS und ATO bzw. die Herstellermitwirkung an der vorgesehenen Fahrzeugumrüstung (ggf. ist auch die Schaffung einer neuen Schnittstelle, wie beim ICE 1 und ICE 3 praktiziert, alternativ mit dem Fahrzeughersteller vereinbar)	Erstellung einer Konzeption zur Ausschreibung mit der Zielsetzung des Fahrzeugbetreibers (z. B. Herstellerunabhängigkeit oder Ausrüstung aus einem Lieferantenhaus?) Erstelltes Zulassungskonzept	DB Regio, VRS, Programmteam	Ab 01/2019
AFZ-3	Einbindung eines externen Experten mit langjährigen und umfassenden Erfahrungen mit Verfahren zur Inbetriebnahmegenehmigung von Schienenfahrzeugen und in der Zulassung von ETCS- und ATO-Fahrzeugumrüstungen	Ausreichende Finanzierung für die Beauftragung Identifizierung geeigneter Experten, idealer Weise mit existierendem Rahmenvertrag für eine kurzfristig umsetzbare Beauftragung	Programmteam, DB Regio, VRS	Ab 01/2019
AFZ-4	Aufsetzen eines systematischen Risikomanagement für die Zulassung von ETCS und ATO zur Absicherung des Zulassungsprozesses und Sicherstellung der Einhaltung der Zeitschienen (ggf. durch Dritten DL). Dies auch um eventuelle Änderungen in den gesetzlichen Regelungen frühzeitig nachzukommen, um die IBG nach gültigem Gesetzes- und Zulassungsstand sicherzustellen	Entscheidung über Vergabe- und GU-Modell Beauftragung eines Dienstleisters zur Zulassungsunterstützung	Programmteam	Ab 01/2019

4.2.1.4 Einkaufs- und Vergabeprozesse

Für die eigentliche Vergabe bieten sich verschiedene Modelle an, die alle als Ziel haben müssen, den Zeitrahmen des abgeleiteten Rollout-Plans einzuhalten.

Es sind grundsätzlich die bestehenden Vergabeprozesse der DB Netz AG für die Infrastruktur und der DB Regio für die Fahrzeugseite anzuwenden. Innerhalb dieser ist die für die Zielerreichung geeignete Konstellation durch den Einkauf der DB AG, die verantwortlichen Bereiche für die jeweiligen Ausschreibungen und das Programmteam zu bestimmen. Daher empfiehlt es sich mit Aufnahme des Projektes ein Ausschreibungs- und Vergabekonzept durch diese Parteien zu erstellen und dessen Passfähigkeit zu der angesetzten Rollout-Planung (siehe Kapitel 4.2.2.2.2) zu überprüfen.

Für die Infrastrukturseite empfiehlt sich die Vergabe der ETCS-Streckenausrüstung auf Basis des dann geltenden Modulvertrags (ab Mitte 2019 soll der aktuelle MV ETCS auf Basis der derzeit in Zulassung befindlichen Lastenhefte ETCS Baseline 3 vorliegen). Die Vergabe der Stellwerksmaßnahmen erfolgt im Rahmen des Projektes PSU. Dies schließt aber ein GU-Modell zu der gesamten LST-Ausrüstung der S-Bahn Stuttgart in den drei Ausrüstungsbereichen (Baustein 1) nicht aus, nur sollten die jeweiligen Modulverträge (STW und ETCS) die Beauftragungsgrundlage darstellen.

Ob ein Abruf der reinen ETCS-Streckenausrüstung in Frage kommt, wäre bei Vorliegen der abgeschlossenen neuen Modulvertrags ETCS zu prüfen, insbesondere hinsichtlich der hier zwingend für das Projekt erforderliche Integrationsleistung STW-ETCS und Fahrzeug-Strecke, die ausreichend zu berücksichtigt sind und vertraglich fixiert sein sollten.

Da ATO-Trackside (ATO-TS) unabhängig von der Stellwerks- und ETCS-Infrastruktur ist, wäre eine eigenständige Vergabe denkbar, es muss allerdings durch das Programmteam sichergestellt werden, dass eine entsprechende Koordination der Ausrüstung über die drei Gewerke (STW, ETCS und ATO) erfolgt. Dies, damit auch die geplante erste technische Inbetriebnahme der Stammstrecke schon die Gesamtausrüstung wiedergibt (auch wenn ATO erst in der zweiten Hälfte 2025 laut Rollout-Planung getestet wird).

Für die Vergabe der Fahrzeugumrüstung ist vorab zu bedenken, dass für die Erreichung eines entsprechenden Skaleneffektes in den Angeboten, sich auch eine enge Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen für die Umrüstung der Regionalfahrzeuge für den Knoten Stuttgart empfiehlt. Hier kann die Kompetenz der verschiedenen Betreiber (z. B. für die Erstellung der Anforderungsspezifikationen) und die so gegebene „Einkaufsmacht“ über die höheren Stückzahlen geschickt gebündelt werden. Zumal man den Vergleich sehen muss zu anderen Ausrüstungsprojekten, bei denen es sich meist immer um mehrere hundert Fahrzeuge (z. B. SBB: 500 Fahrzeuge in 11 Baureihen) handelt.

Für die Fahrzeugseite erscheint es sinnvoll, unabhängig von der oben angesprochenen Bündelung, die Aus- und Umrüstung von ETCS und ATO zusammen in einem Los zu vergeben. Hier gilt auch die grundsätzliche Empfehlung, die OBUs für ETCS und ATO gemeinsam von einem Anbieter zu beschaffen. Dies kann ein externer OBU-Lieferant sein oder der Fahrzeughersteller selbst. Herausfordernd ist bei der Integration der beiden Systeme weniger die noch zu schaffende Schnittstelle zwischen ETCS und ATO mit dem entsprechenden Nachweis der Rückwirkungsfreiheit von ATO auf die sicherheitsrelevante Zugbeeinflussung/-sicherung durch ETCS, sondern vielmehr die erforderliche Integration von ETCS wie ATO in die Fahrzeuge und deren TCMS.

Die Integration von ETCS in TCMS ist nicht trivial (DMI, Bremseingriff, Traction-cut-off, Türstatus, SA/HS). Der Aufwand des zusätzlichen Eingriffes in die Traktionssteuerung von ATO ist nicht mit mehr Aufwand verbunden als für ETCS allein. Die Kooperation mit dem Fahrzeughersteller (Offenlegung Schnittstelle) ist bereits für ETCS vollumfänglich notwendig, Traktion ist „nur“ ein weiteres Element (ATO).

Der theoretische Vorteil, ATO direkt an den Fahrzeughersteller zu vergeben und die ETCS OBU und deren Integration an einen dritten Hersteller, wäre eine Vereinfachung der Schnittstelle ATO-TCMS (hausintern beim Fahrzeughersteller, muss aber trotzdem erarbeitet werden). Allerdings ist die Schnittstelle ETCS-TCMS ebenfalls nicht trivial, und es müsste dann zusätzlich die Schnittstelle ETCS-ATO hergestellt werden (die zwar Standard nach Subset 130 ist, aber trotzdem zu einem Thema wird, wenn unterschiedliche Anbieter beteiligt sind).

Die Fahrzeug-Hersteller müssen demnach ggf. zusätzlich zu der Vergabe für das Realisierungsprojekt beauftragt werden, die Schnittstellen zu der Fz-Leittechnik (TCSM) offenzulegen bzw. an der Aus- und Umrüstung der Fahrzeuge mitzuwirken. Die Erfüllung von Subset 139 allein wird wohl nicht ausreichen, da es sich um Bestandsfahrzeuge handelt – deren Schnittstelle ist individuell festzulegen. Vom technischen Ansatz her empfiehlt es sich auf eine Trennung des ETCS-Busses vom MVB mit einem entkoppelten DMI und einer Schnittstelle (Gateway) zwischen beiden Bussystemen zu setzen. Somit sind nur die notwendigen Schnittstellenaspekte zu betrachten. Ein weiterer Vorteil dieser Konstellation ist, dass ein Update des einen Systems das jeweils andere nicht automatisch mit beeinflusst. Auch diese besonderen Aspekte der Instandhaltung sind mit in den üblicherweise im Rahmen des Vergabeprozesses aufzustellenden Anforderungskatalog zu berücksichtigen.

Tabelle 83: Handlungsempfehlungen für die Vergabe

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
AV-1	Gemeinsame Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für die Regionalfahrzeuge und die S-Bahn Stuttgart	Ausrüstungsvorstellungen stimmen weitgehend überein, verbindliche Terminschiene 06/2025 wird beidseits angestrebt; Beachtung der mit der Studie empfohlenen Anforderungen ETCS/ATO zur Anpassung der Fahrzeuge	DB Regio, VRS	Ab 12/2018
AV-2	Gebündelte Ausschreibung für die 13 Baureihen und die über 350 auszurüstenden Fahrzeuge (inkl. der zusätzlich zu bestellenden Neufahrzeuge für die S-Bahn)		DB Regio, VRS, DB Einkauf	Ab 03/2019

4.2.2 Vorschläge Umsetzungsorganisation + Roadmap

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspaketes AP3 aus der Leistungsbeschreibung.

4.2.2.1 Überblick

Die im Rahmen der Diskussion zu den Ausrüstungsszenarien und der Prozess-Betrachtung erfolgte Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung, eine geeignete Organisation zur Umsetzung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie vorzuschlagen, führte zu einer Betrachtung der derzeitigen Projektorganisationen zu den laufenden ETCS-Projekten (Infrastruktur) bei der DB Netz AG.

Hier zeigte sich, dass im Wesentlichen zwei Modelle zur Anwendung kommen. Entweder wird der ETCS-Ausrüstungsanteil in einem Teilprojekt LST eines Gesamtinfrastrukturprojektes (mit umfangreichen Oberbaumaßnahmen) geführt und eingeordnet oder die ETCS-getriebene LST-Ausrüstung einer Strecke/Trasse ist ein eigenständiges und autark agierendes Projekt (ohne bestimmende Oberbaumaßnahmen).

Im vorliegenden Fall ist die Einordnung des anstehenden Realisierungsprojektes nicht ganz so eindeutig. Das Besondere an der angedachten Maßnahme bei der S-Bahn Stuttgart bzw. dem DSTW/ETCS-Pilotprojekt im Raum Stuttgart ist die Abhängigkeit der Infrastrukturausrüstung von der Fahrzeugumrüstung, die mit einer Organisationsstruktur eingefangen und gesteuert werden muss. Und dies parallel zu dem Großprojekt Stuttgart 21 mit der Neubaustrecke Wendlingen – Ulm, das ebenfalls weitgehend mit ETCS Level 2 ausgerüstet wird.

Entlang der Betrachtung der Umsetzungsorganisation und der Erstellung des Rollout-Plans unter Ableitung aus den voranstehenden Untersuchungen haben sich folgende Handlungsempfehlungen herauskristallisiert, die das empfohlene Rollout-Szenario wie aber auch alle vier möglichen Rollout-Szenarien adressieren.

Tabelle 84: Handlungsempfehlungen aus Sicht der Ausrüstungsstrategie

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich	Termin
PR-1	<p>Einrichtung eines Programmteams zur Einführung von ETCS u. a. mit dem Auftrag:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Empfehlungen aus der Studie mit den Stakeholdern im Detail abzustimmen und möglichst umzusetzen - ein Konzept für die Systemintegration von der Ausschreibung, Tests, Erprobung, Zulassung bis zur IBN zu entwickeln - die Koordination und fachliche Begleitung der Ausschreibungen der Fahrzeug- und Streckeneinrichtung wahrzunehmen 	<p>Bereitstellung ausreichender und geeigneter Ressourcen durch die Bedarfsträger.</p> <p>Ausreichender Handlungsspielraum für das Programmteam (Basis eigene Organisationsweisung).</p> <p>Klare Festlegung der Schnittstellen mit Kommunikationsregeln und etwaiger Durchgriffsmöglichkeiten auf tangierende, untergeordnete Projekte.</p>	DB, VM, VRS, Bund	01/2019

	<ul style="list-style-type: none"> - Weiterentwicklung des Gesamtsystems zur Trassenmehrung in der Stammstrecke sicherzustellen 			
PR-2	Einrichtung eines übergreifenden Fehlermanagements (FM)	Aufhängung des FM beim Programmteam unter Beteiligung der wesentlichen Verantwortlichen der Umsetzung/Realisierung.	Programmteam, DB Netz, DB Regio, VRS, Hersteller (STW/RBC/Fzg.), Planer, Gutachter und EBA	Ab 2020
PR-3	Beauftragung Erstellung Gamma-Bremsmodell	Eindeutige Aufgabenstellung für die Untersuchung	VRS, DB Regio AG	12/2018
PR-4	Sicherstellung der Umrüstkapazität für die Fahrzeuge	<p>Vollständige Umrüstung erreichbar bis 06/2025;</p> <p>Reduzierung der Umrüstzeiten durch ortsnahen Werkstattkapazitäten, um die aufwendigen (zugelassene Fahrzeugführer, Koordinationsleistungen, Überführungskosten) und zeitintensiven Überföhrungsfahrten zu vermeiden bzw. vom Umfang her gering zu halten.</p>	DB Regio	Ab 12/2022
PR-5	Klärung der Ausschreibungs-konstellation für die ATO-Fahrzeugkomponenten in Bezug auf den Härtegrad der Spezifikationen	<p>Beachtung der notwendigen Einbeziehung von Fahrzeugherstellern hinsichtlich der TCMS-Schnittstellen der Fahrzeuge und deren Offenlegung</p> <p>Nutzung der Auftrags-Mengeneffekte durch Zusammenlegung mit umzurüstenden Regionalfahrzeugen</p>	DB Regio	12/2018
PR-6	Anhebung der Streckengeschwindigkeit in der Stammstrecke und Hasenbergtunnel → Planungen vorantreiben	Beachtung der Untersuchungsergebnisse der Studie zu 80 km/h bzw. 100 km/h (siehe Kapitel 3.1.3.1.4.3)	DB Netz	12/2018
PR-7	Release-Planung für die Regelwerksanpassungen (ESTW/ETCS) mit den Anforderungen der S-Bahn Stuttgart synchronisieren	Beachtung der identifizierten Ergänzungsanforderungen für eine Fortschreibung des betrieblich technische Lastenheftes ETCS (BTSF BL3)	DB Netz, I.NPS	12/2018

PR-8	TMS-/FRMCS-Konzeption und Lastenhefte erarbeiten		DB Netz	Ab 2019
PR-9	Beauftragung der Entwurfsplanung für ETCS+	Basis vorliegende Planungsrichtlinie (noch nicht zugelassen) und Planungshinweise (zu erstellen) zu weiteren Spezifikationsanforderungen für die S-Bahn (z. B. CR 953)	DB Netz, PSU	10/2018
PR-10	Entscheidung zum möglichen vorübergehenden Weiterbetrieb des RSTW Stuttgart Hbf als Alternative (Rückfallebene) im Rahmen der IBN-Konzeption	<p>Betrieb des RSTW ist bis 12/2025 ohnehin fest eingeplant.</p> <p>Abstimmung mit der Stadt Stuttgart zur längeren Nutzung des Gleisfelds.</p> <p>Klärung Umfang Anpassung der Kabeltrassenführung und der Kabelanbindungen bei vorläufigem Weiterbetrieb des RSTW</p>	DB Netz, VM, VRS	06/2019
PR-11	Abstimmung mit den privaten Providern zur Verbesserung der Funk-Ausleuchtung in den Bereichen, in denen Züge wenden (für ATO-Light)	Abhängig von Entscheidung zur Umsetzung der per Funkübertragung übermittelten Journey Profiles für ATO	DB Netz	06/2019
PR-12	Planung zur Erneuerung des Bahn-Betriebsfunknetzes des Knotens Stuttgart (Projekt BSS-ReInvest) für ETCS und zukünftige Anforderungen anpassen		DB Netz	12/2018
PR-13	Ergebnisse der AG GSM-R sollten in Bezug auf das angepasste ETCS-Fernbahn-Konzept (Entfall von „ETCS signalgeführt“) verifiziert werden.		DB Netz, PSU	12/2018

4.2.2.2 Detailbeschreibung

4.2.2.2.1 Programmteam

Daher empfiehlt sich hier jetzt eine Organisation mit einem Nukleus aus einem Programmteam, welches zum einen die Interaktion mit und die Einbindung der ETCS-Organisationen des DB-Konzerns wahrnimmt bzw.

sicherstellt, wie auch den Austausch mit und die Einbeziehung des Gesamtprojektes PSU (Projekt Stuttgart-Ulm) garantiert.

Zum anderen aber muss das Programmteam die Projektleitung für die ETCS/ATO-Ausrüstung der verbundenen Kombination von Fahrzeugen und Streckenausrüstungen übernehmen und auch eine fachliche Mitwirkung in den Zulassungsprozessen, den Realisierungsaktivitäten und im Technologiemanagement aller Komponenten wahrnehmen.

Dazu gehört auch die Aufgabe ein übergreifendes Konzept für die Zulassung, Erprobung und Inbetriebnahme zu erstellen und mit dem Gremium, in dem das Eisen-Bahnbundesamt (zentral wie regional) vertreten sein soll, abstimmen.

Weitere Aufgaben sind die Sicherstellung der Systemintegration für ETCS und ATO über den gesamten Projektzeitrahmen einerseits und für die ETCS/ATO-Ausrüstung Fahrzeug-Strecke andererseits. Dazu kommt noch das Managen bzw. die Beteiligung an dem durchgehenden Fehlermanagement, das frühzeitig aufzusetzen ist, um bereits in der Testphase der Prototypen, Erkenntnisse für den weiteren Projektverlauf zu gewinnen.

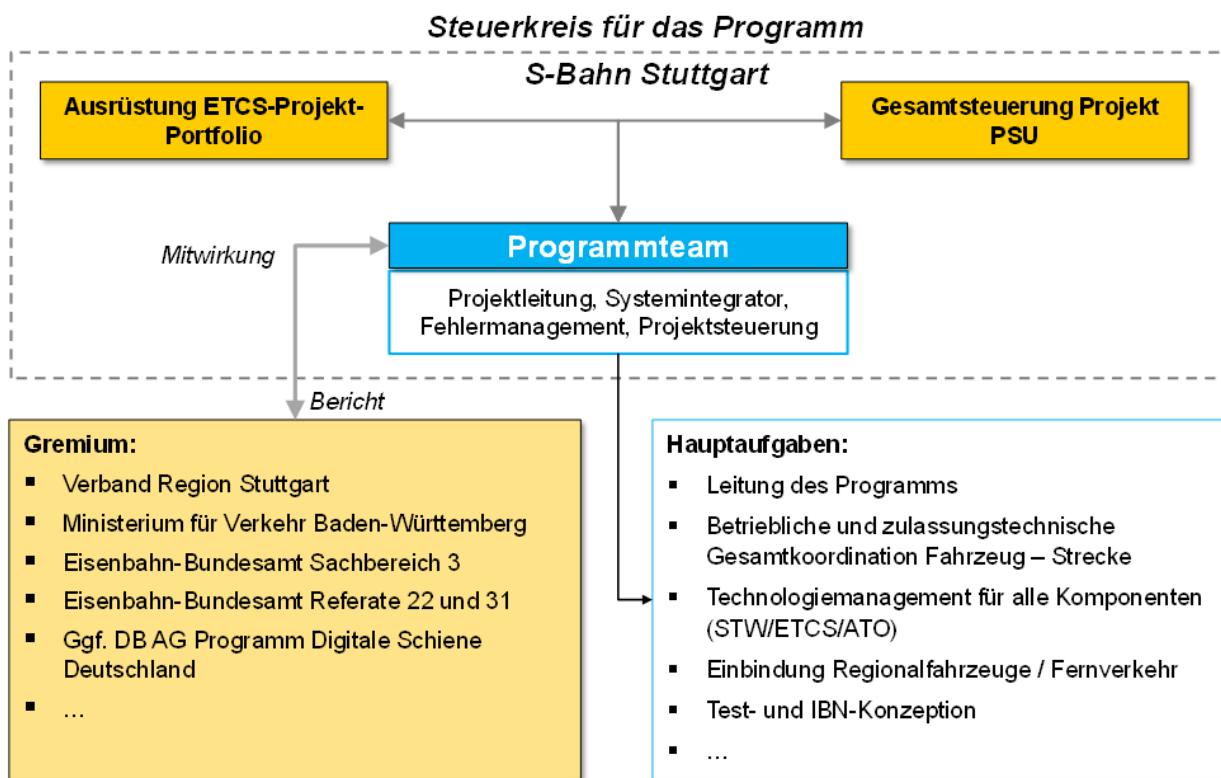


Abbildung 96: Organisationsempfehlung Programmteam S-Bahn Stuttgart (Steuerkreis, Gremium, Aufgaben)

Das Programmteam stimmt sich eng mit den zuständigen Bereichen der DB Netz und der Gesamtsteuerung des Projektes PSU im Rahmen des einzurichtenden Steuerkreises ab. In diesem Gremium soll mit hoher Flexibilität Richtungsentscheidungen getroffen werden, um aufgrund des herausfordernden Zeitplans und der komplexen Themen und zahlreichen Beteiligten, schnell und gezielt reagieren und entscheiden zu können.

Die genaue Ausgestaltung und Aufhängung des Programmteams und des Steuerkreises ist nach Projektentscheid umgehend zu definieren und die Ressourcen zu bestimmen, um von Anfang an handlungsfähig zu sein.

Insbesondere da gerade zu Projektbeginn, wesentliche Entscheidungen einschließlich der Klärung der Finanzierung herbeigeführt und Steuerungs- bzw. Koordinationsaufgaben wahrgenommen werden müssen, ist die zeitnahe Einsetzung des Programmteams eine zwingende Voraussetzung. Zudem sind Konzepte zu entwickeln, um neben der Planung, die weitere Richtung und Aufgaben entlang der Zeitschiene festzulegen.

Der Steuerkreis berichtet regelmäßig an das ebenfalls zu installierende Gremium in dem insbesondere Vertreter der Auftraggeber für das Projekt, aber auch des zentralen (z. B. des Referats 22 und/oder 31) und des regionalen (Sachbereich 3) Eisenbahnbusdesamtes, gerade um die komplexen Themen der Zulassung direkt abstimmen und darüber informieren zu können.

Zur Wahrnehmung der erforderlichen Aufgaben des Programmteams ist dann noch eine weitergehende Organisation, unterhalb des Programmteams selbst erforderlich. Diese sollte nach Arbeitsgebieten geordnet sein und durch Verantwortliche der Themen-führenden Organisationseinheiten/Unternehmen gesteuert/geführt werden. Hier sollte auf eine enge Interaktion der Handlungspartner mit dem Programmteam Wert gelegt werden (siehe Abbildung 97).

Um die Effizienz in den noch auszudefinierenden Arbeitspaketen deutlich zu erhöhen, empfiehlt sich eine Einbindung der Teile des vorgesehenen Gremiums in Form einer themenbezogenen Mitwirkung in den Arbeitspaketen selbst. Auch hier sollte das Programmteam steuernden Einfluss nehmen und sich entsprechend berichten lassen.

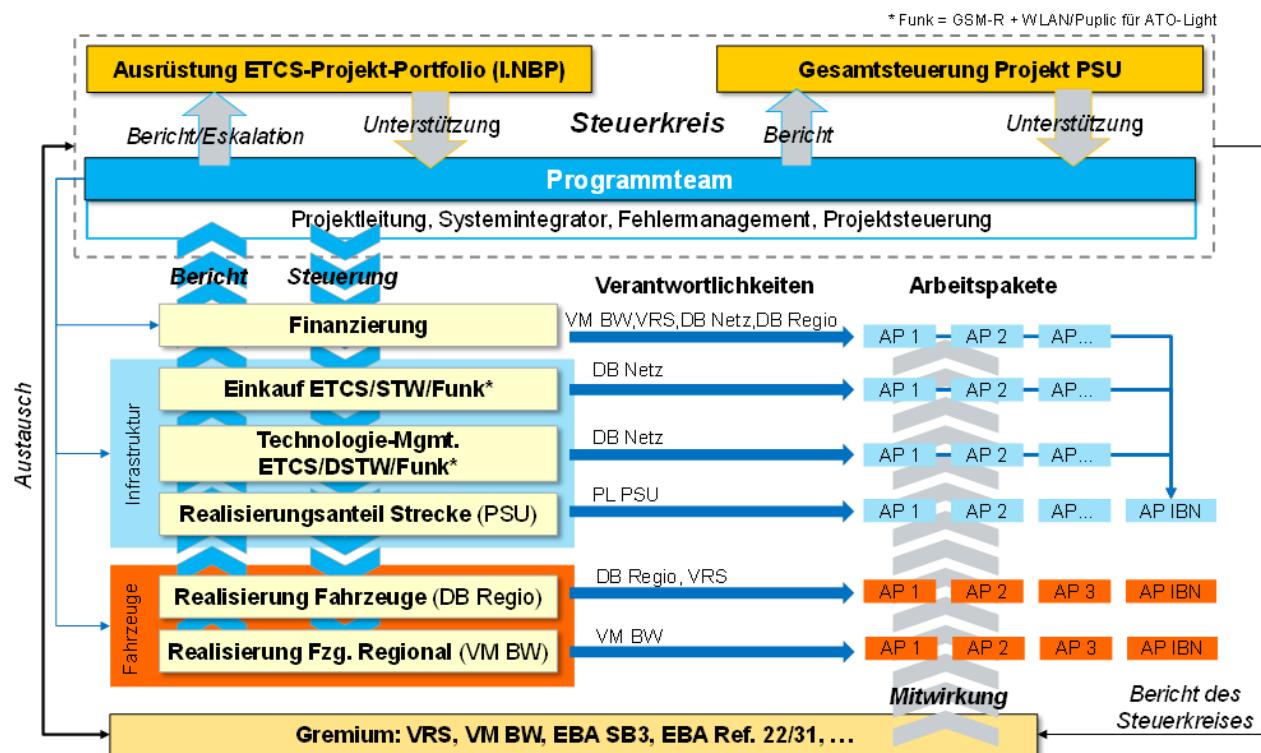


Abbildung 97: Organisationsempfehlung Programmteam S-Bahn Stuttgart, Gesamtbild

Fazit: Der Komplexe Sachverhalt mit der Einführung neuer, teils noch in der Spezifikationserstellung befindlicher Technik in einem recht engen Zeitkorsett und mit hohem Abstimmungsbedarf sowie einem mehrschichtigen Integrationsbedarf erfordert eine durchdachte und fokussierbare Projektorganisation. Mit dem vorgeschlagenen Kern in Form des Programmteams und dessen (kommunikations-)Verbindung zu allen weiteren Beteiligten bzw. Stakeholdern wird dies erreicht bzw. ermöglicht.

Erforderlich ist hier eine entsprechende Ausstattung des Projektes mit Ressourcen, die das gesamte Spektrum der Aufgaben wie der hier festgehaltenen Handlungsempfehlungen abdecken und eine organisatorische „Inthronisierung“ des Projektes mit Ermöglichung eines durchgreifenden Handlungsrahmens z. B. über eine entsprechende Organisationsweisung.

Die genaue Ausgestaltung hängt aber auch stark davon ab, wo und wie das Projekt gegenüber dem Großprojekt PSU und innerhalb der Realisierungsorganisationen der Auftraggeber dieser Studie aufgehängt sein soll/muss.

4.2.2.2 Roadmap

Aus den vorangehenden Ausführungen in Kapitel 4, den Ableitungen aus den vorliegenden Planungen (PSU), den Erfahrungswerten der InGe und den Überlegungen und Vorschlägen zu den Genehmigungsprozessen ergibt sich für das favorisierte Ausrüstungsszenario eine komplexe und mit vielen Abhängigkeiten versehene Roadmap bis zur formulierten Zielsetzung der kommerziellen Inbetriebnahme der ETCS/ATO-Ausrüstung (inkl. der neuen ESTW als Voraussetzung für ETCS Level 2) in 12/2025.

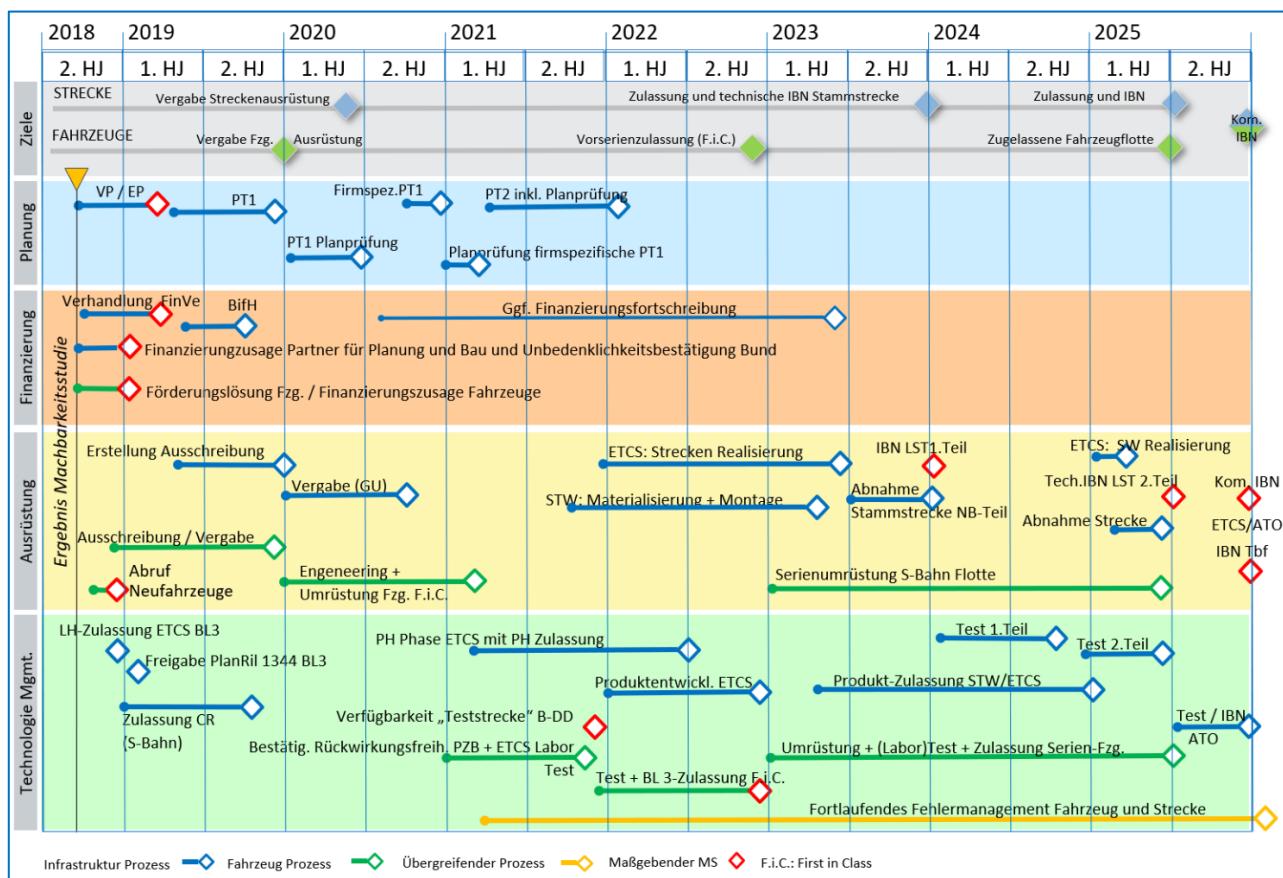


Abbildung 98: Roadmap-Übersicht – Umsetzung des priorisierten Szenarios I

Zu den maßgebenden Meilensteinen gehören neben den Meilensteinen der Anfangsphase (Finanzierungslösungen, notwendige Planung und Abruf der erforderlichen Neufahrzeuge), die kritischen Meilensteine für die Ermöglichung und Erreichung der Zulassung der First-in-Class-Fahrzeuge wie die Meilensteine der stufenweisen Inbetriebnahme der Infrastruktur. Letztere Beginnen mit der IBN LST Teil 1 der die technische Inbetriebnahme des für die ETCS-Teststrecke innerhalb des Ausrüstungsbereichs notwendigen Stellwerksanteile umfasst und das Testen der ETCS-Ausrüstung mit den First-in-Class-Fahrzeugen ab 01/2024 ermöglicht. Geht

dann weiter über die IBN LST Teil 2, der die technische Inbetriebnahme in 06/2025 aller Stellwerke und der ETCS-Ausrüstung nach erfolgreich abgeschlossenen Tests und der erfolgten zulassungsrelevanten Erprobung umfasst, und endet mit der kommerziellen Inbetriebnahme der gesamten neuen S-Bahn LST-Infrastruktur inkl. ATO zeitgleich zur IBN von Stuttgart 21

Runtergebrochen auf die die beiden Bereiche Infrastruktur und Strecke ergeben sich nachstehende Aussagen zu den wesentlichen Vorgängen und Meilensteinen:

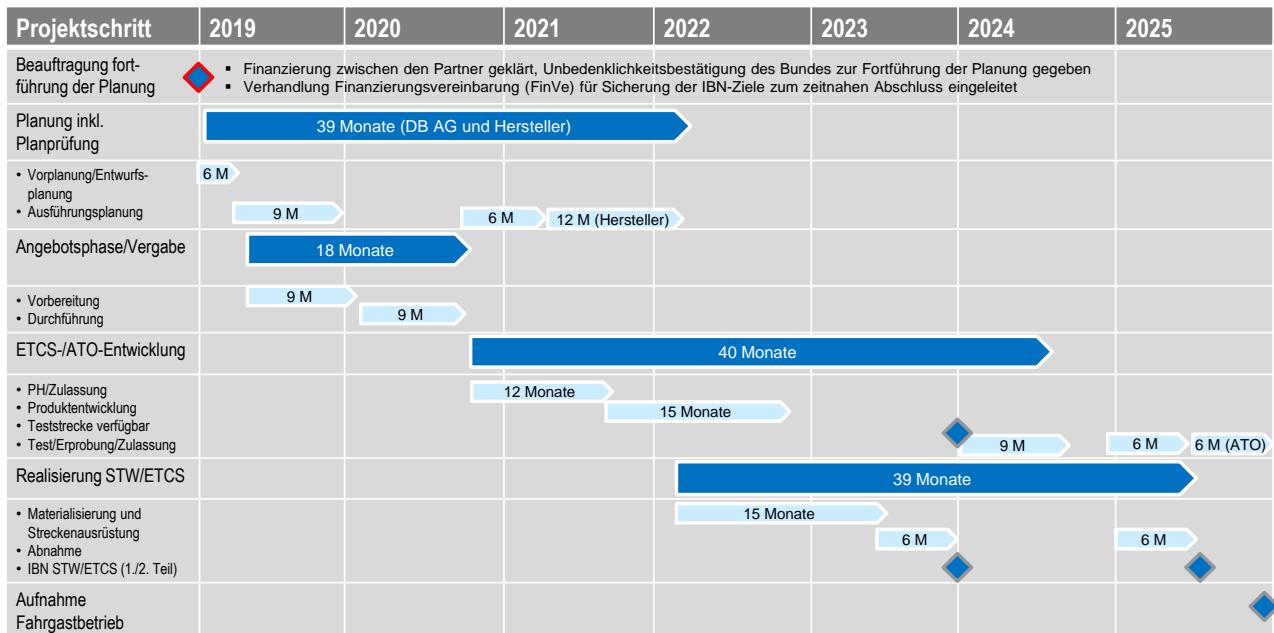


Abbildung 99: Roadmap Infrastruktur – Zeitplan zur Umsetzung des priorisierten Szenarios I

Der Zeitplan für die STW bzw. ETCS/ATO-Streckenausrüstung ist maßgeblich von der Klärung der Finanzierungfrage abhängig. Ein weiterer kritischer Faktor ist die rechtzeitige Zulassung der für die Ausschreibung erforderliche und bedarfsgerechte Lastenheftspezifikationen.

Die vorgesehenen Zeitfenster für die ETCS-/ATO-Entwicklung und die Realisierung STW/ETCS sind nach Auffassung der InGe ausreichend bemessen und bieten jeweils Puffer und Handlungsspielraum, solang die Prämissen wie die rechtzeitige und umfängliche Fahrzeugbereitstellung für die Streckentests und die Erprobung erfolgt.

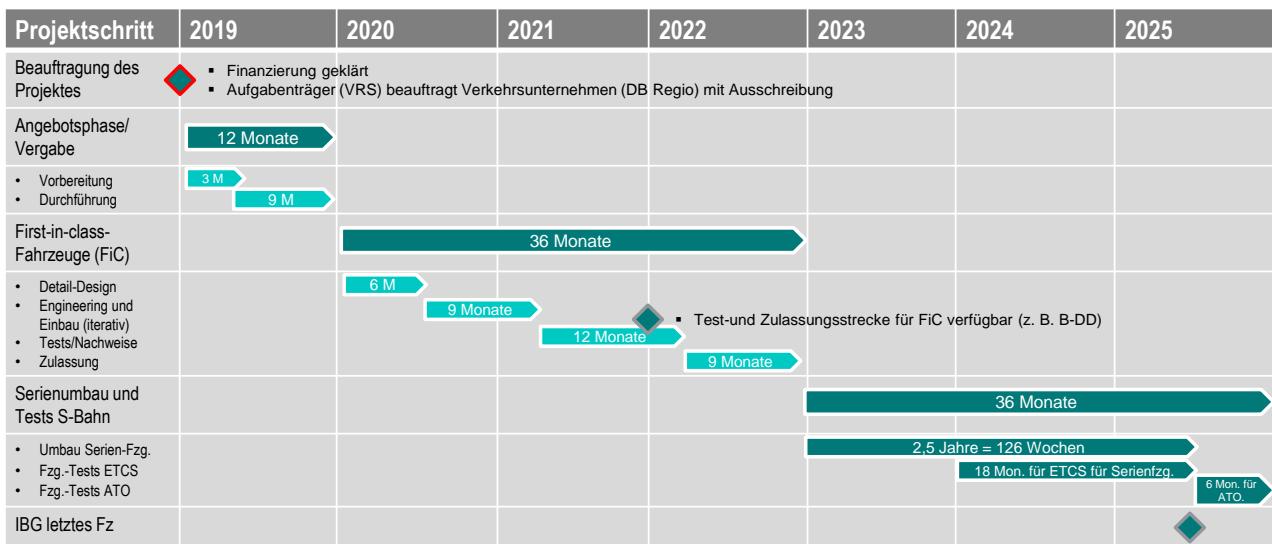


Abbildung 100: Roadmap Fahrzeuge – Zeitplan zur Umsetzung des priorisierten Szenarios I

Prämissen:

- Zusätzliche S-Bahn-Fahrzeuge notwendig, da 2 bis 3 S-Bahnen während der Serienumrüstung gleichzeitig umgerüstet werden
- Zur Minimierung der Überführungskosten müssen dafür erforderliche Werkstattkapazitäten müssen im Umkreis von Stuttgart geschaffen werden
- Jedes Fahrzeug steht während der Serienumrüstung 14 Tage für die Umläufe nicht zur Verfügung

Der Zeitplan für die Fahrzeugumrüstung enthält keinen Puffer bis zur Gesamtinbetriebnahme, sodass eine Projektsteuerung der Vorgänge sehr eng verfolgen und ggf. zeitnah Gegensteuerungsmaßnahmen einleiten muss. Eventuelle Erkenntnisse aus den Tests der ETCS-Infrastruktur ab 01/2024 und deren Konsequenzen wären eng mit den betroffenen Beteiligten abzustimmen (der Schritt ist entsprechend auch im Vorhinein bei Beauftragung zu vereinbaren) und entsprechend umfassend zu steuern. Dies vor dem Hintergrund, ggf. erforderliche Ausrüstungsanpassungen (z.B. an der Fahrzeug-Hard- oder Software) noch innerhalb des Umrüstungszeitraums zu realisieren und ein dringend empfohlenes abschließendes Testen aller Fahrzeuge auf der ausgerüsteten Strecke vor der kommerziellen IBN zu ermöglichen

4.2.2.2.3 Nächste Schritte

Um die Umsetzung der des Rollout-Szenario I sicherzustellen sind in dem laufenden Jahr wie auch in den ersten zwölf Monaten des kommenden Jahres (2019), gemäß Diskussionsstand der Beteiligten der Machbarkeitsstudie, mehrere Aktivitäten aufzusetzen und zu verfolgen – außerhalb der Initiierung und Befähigung der vorgeschlagenen Projektorganisation mit dem „Programmteam S-Bahn Stuttgart“.

Zu diesen Maßnahmen zählen maßgeblich:

- a) die schon weiter oben angesprochene Sicherstellung der erforderlichen Finanzierung des identifizierten Realisierungspaketes von 258 Mio. EURO für die Fahrzeug und die Infrastrukturausrüstung mit ETCS und ATO (siehe hierzu Kapitel 5.1). Bzw. zumindest die Finanzierungszusage der Projekt-Partner

DB Netz AG, Verband Region Stuttgart und Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg mit Übernahme des Risikos verlorener Kosten für die Fortführung der Planung sofern keine Finanzierungsvereinbarung mit dem Bund zustande kommt, über die diese Kosten geltend gemacht werden können.

- b) Einhergehend mit der Mindestforderung aus Punkt a) ist eine Unbedenklichkeit des Bundes für die weiter zu planenden Infrastrukturmaßnahmen einzuholen. Aufgrund der Aussage des Eisenbahnbundesamtes fehlenden Haushaltstitels für diese Maßnahme, handelt es sich hier um einen rein politisch herbeizuführenden Entscheidungsbedarf.
- c) Nutzung des bestehenden Abruf-Vertrages mit Bombardier zur Bestellung von Neufahrzeugen, um die Quote der zeitgleich aus dem Betrieb herausnehmbaren Fahrzeuge signifikant zu erhöhen, so dass diese schneller Aus- bzw. Umgerüstet werden können – solange die erforderlichen Werkstatt-Kapazitäten bereits gestellt werden können. Dieser Organisationsteil für die S-Bahn-Fahrzeuge liegt bei DB Regio.
- d) Fortführung/Anpassung der Vorentwurfsplanung und anschließende Erstellung der Entwurfsplanung auf Basis der vorliegenden Planungsrichtlinien ETCS L2 Baseline 3.
- e) Zusammenstellung der Ausschreibungsunterlagen Infrastruktur und der Anforderungen/Vorgaben für die Fahrzeugausstattung zur Einleitung des jeweiligen

Nächste Schritte - Roadmap – Ausschnitt 2018/19 Übersicht anstehender wesentlicher Aktivitäten und deren Ziel-MS

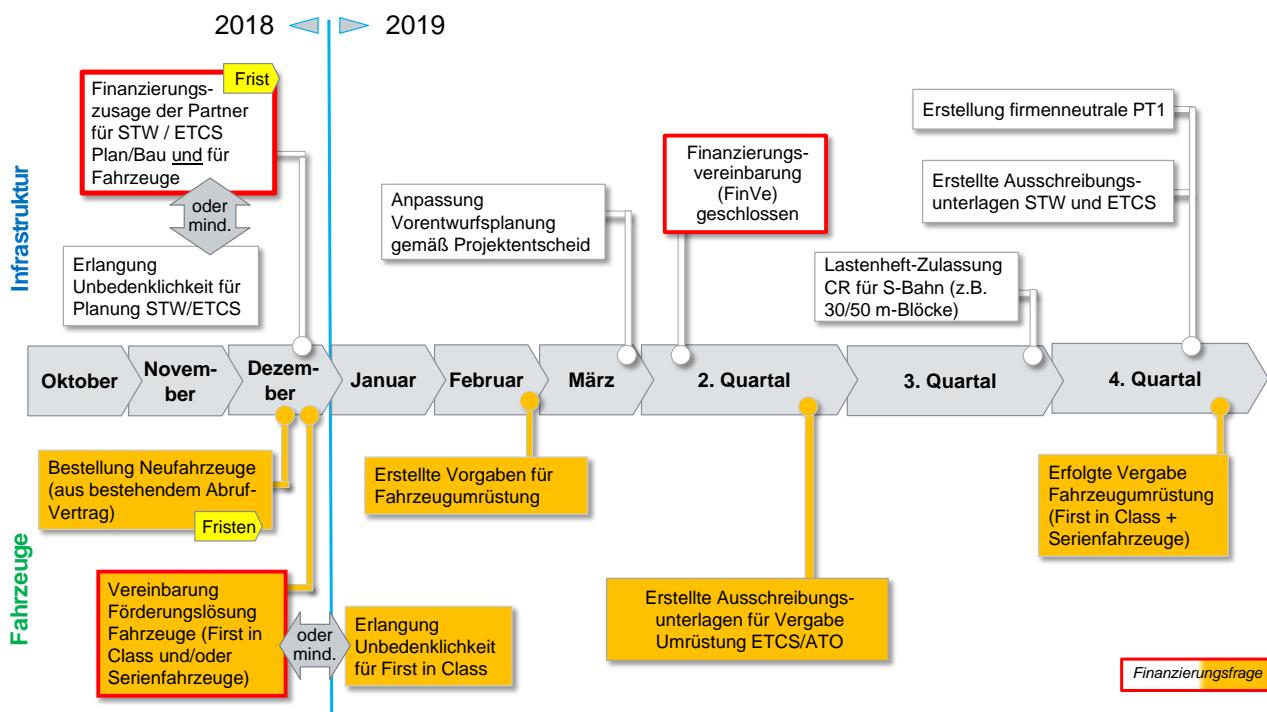


Abbildung 101: Roadmap – Nächste Schritte und erforderliche Aktivitäten 2018 und 2019

4.2.2.2.4 Risikomanagement

Im Rahmen der Stufe 1 der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde die Methodik eines Risikospeichers installiert, der dazu diente in einem ersten Schritt eine Sammlung von grundsätzlichen Risiken zu erstellen.

Mit der Stufe 2 der Machbarkeitsstudie wurden die erfassten Risiken sowie weitere, potenzieller Risiken bearbeitet und einer vollständigen Risikoabschätzung unterzogen

Über die bereits identifizierten Risiken im Risikospeicher hinaus werden in dem Kapitel 2.6.7.4 explizite Maßnahmen zur Risikominimierung für die Inbetriebnahme und den Betrieb aufgeführt, die sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen lassen:

1. Verantwortlichkeiten der Hersteller insbesondere bzgl. Systemintegration klar definieren
2. Übergeordnete Releaseplanung
3. Offenlegung von Fehlern und Abweichungen
4. Eigenes Set an Testfällen
5. Labortest vor Feldtests
6. Durchführen betrieblicher Tests im Feld, vor der Inbetriebnahme
7. Erprobung vor Inbetriebnahme
8. Fehlermanagement
9. Vermessung nach Installation
10. Key-Management

Die Wesentlichen Risiken (Kernrisiken) für die Projektumsetzung lassen sich wie folgt in einer Risikomatrix abbilden (siehe Abbildung 102).

Als grundsätzliches Projektrisiko im Sinne der Ermöglichung das Projekt überhaupt anzugehen und zu realisieren, stellt sich der folgende Punkt dar, der zunächst auf politischer Ebene durch die Bedarfsträger gelöst und vereinbart werden müssen:

Gesicherte Finanzierung bis Anfang 2019 – ohne diese ist eine Umsetzung des Projektes ist nicht möglich oder das Projekt wird erst deutlich später beginnen können, mit der Konsequenz einer verschobenen Inbetriebnahme und erforderlichen Kompensationsmaßnahmen, wie der Weiterbetrieb des

RSTW.

Das Szenario I ist nicht dann mehr umsetzbar.

Dies gilt für die Finanzierung Streckenmaßnahmen ETCS/ATO-Light gleichermaßen wie für die Finanzierung der Fahrzeug-Umrüstung.

Gemäß der Analyse der InGe erben sich folgende Kernrisiken für das Projekt:

1. Verzögerung Zulassung ETCS/ATO-Light Strecke
2. Zeitgerechte Wiederinbetriebnahme Fahrzeug (06/2025)
3. Verfügbarkeit von Planprüfern
4. Verfügbarkeit der Abnahmeprüfer
5. Ausreichende Ressourcen DB für die Anpassung des Regelwerks

Diese Kernrisiken lassen sich wie folgt einordnen:

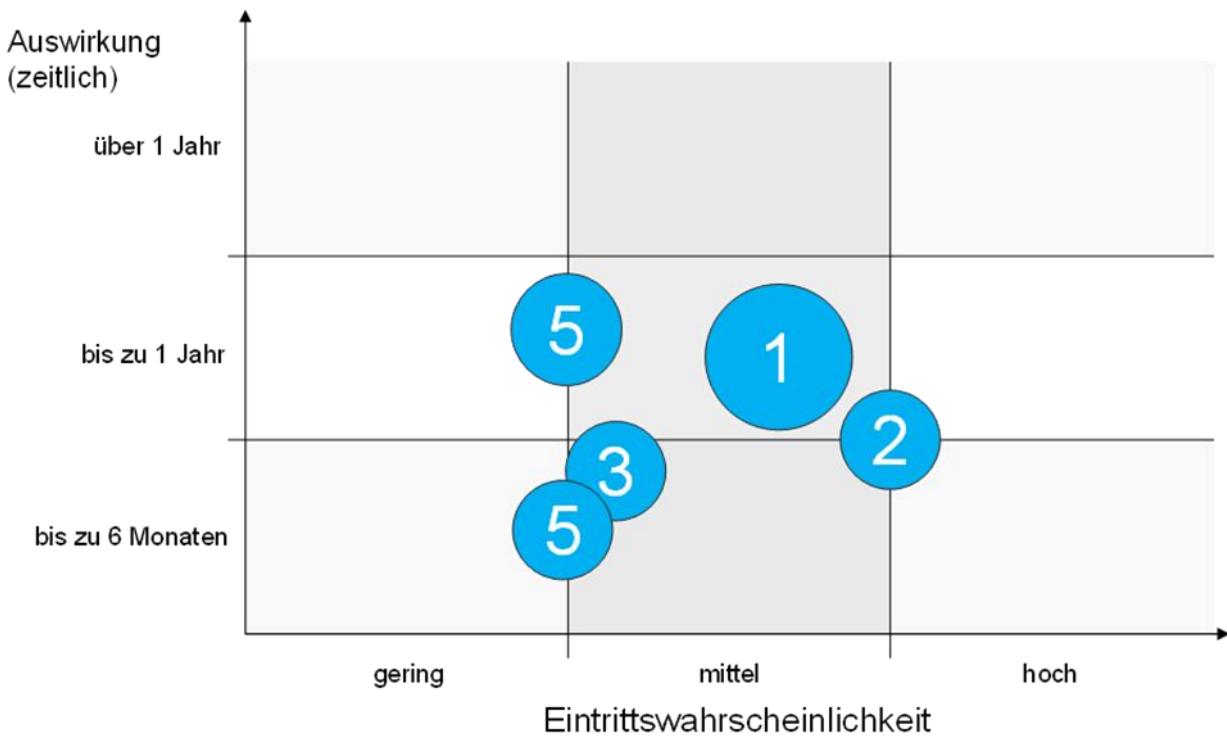


Abbildung 102: Projektrisiken inkl. Eintrittswahrscheinlichkeit

Anmerkung: Eine weitergehende Risikobetrachtung ist im höchsten Maße abhängig vom Projektbeginn, der wiederum von einer gesicherten Finanzierungsgrundlage abhängt, die momentan nicht gegeben ist. Zur Erreichung des ausgewiesenen IBN-Ziels 12/2025 ist es erforderlich, die Grundlagen für die Umsetzbarkeit des Projektes bis 01/2019 zu erwirken. Dies umfasst vor allem die Bereitstellung der Projektfinanzierung.

5 Kostenschätzung

Dieses Kapitel entspricht dem Arbeitspaket 4 „Produktentwicklung“ aus der Leistungsbeschreibung.

5.1 Kostenschätzung Überblick

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspakets AP4 aus der Leistungsbeschreibung. Die Kostenermittlung im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde in zwei Schritten erarbeitet und zu einem Ergebnis zusammengeführt.

Im ersten Schritt wurden Kosten für die ETCS Ausrüstung (Technologieszenarien „ETCS Basis“ und „ETCS+“) der Stammstrecke sowie die Kosten für die Fahrzeugausrüstung mit ETCS (inklusive GSM-R) und ATO ermittelt.

Im zweiten Schritt wurden Kosten für die Streckenausrüstung mit den technischen Systemszenarien ETCS+ und ATO-Light für die Bausteine 1 (Ausrüstungsbereiche 1 (Stammstrecke bis Österfeld), 2 (Vaihingen / Goldberg) und 3 (Vaihingen / Filderstadt)) und für die weiteren Ausrüstungsbereiche 4, 5 und 6 (Bad Cannstatt, Zuffenhausen und Neuhausen) ermittelt. Die Ergebnisse des ersten Schrittes bildeten dabei, in leicht angepasster Form, die Grundlage für das Gesamtergebnis (Siehe Kapitel 5.3.4.1, Delta zur Kostenermittlung der Stammstrecke).

Das Gesamtergebnis fasst die folgende Tabelle zusammen:

Tabelle 85: Überblick Gesamtergebnis Kostenermittlung

Untersuchungsgegenstand	Kosten	
Stammstrecke Mittnachtstraße bis Schwabstraße Technik: ETCS+ (Schritt 1)	Streckenkosten	16,4 Mio. €
	Fahrzeugkosten	120,0 Mio. €
	Gesamtkosten	136,4 Mio. €
Stammstrecke Schwabstraße bis Österfeld Ausrüstungsbereiche 2 / 3 Technik: ETCS+ / ATO-Light / Geschwindigkeitserhöhung + pauschale Risikokosten (Schritt 2)	Streckenkosten	121,3 Mio. €
Gesamt (Baustein 1)		257,7 Mio. €
Ausrüstungsbereiche 4, 5 und 6 Technik: ETCS+ / ATO-Light	Streckenkosten	91,4 Mio. €

Untersuchungsgegenstand	Kosten
Gesamt (Baustein 1 & Ausrüstungsbereiche 4, 5 und 6)	349,1 Mio. €

5.2 Kostenschätzung (Schritt 1)

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspakets AP4 aus der Leistungsbeschreibung.

5.2.1 Überblick

5.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Ziel der Kostenermittlung als Teil des ersten Schrittes der ETCS-Untersuchung ist die Ableitung von Kosten für die relevanten Ausrüstungsszenarien auf der Fahrzeug- und Streckenausrüstung auf der Basis der jeweiligen Systemausführungen, als Inputdaten für die weiteren Schritte im Entscheidungsprozess. Der Ausrüstungsbereich, der in der Kostenermittlung im ersten Schritt betrachtet wurde, umfasst ausschließlich die Stammstrecke.

Eine weiterführende Kostenermittlung für ggf. erweiterte Ausrüstungsbereiche oder weitere Varianten ist Teil des zweiten Schrittes der Machbarkeitsstudie.

5.2.1.2 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Kostenermittlung der Stufe 1 der ETCS-Untersuchung hat folgende Gesamtkosten für die Szenarien „ETCS-Basis“ und „ETCS+“ ermittelt, jeweils ohne die Kosten für das Basis-Szenario „Ks ohne ETCS“:

Tabelle 86: Gesamtkosten Szenarien ETCS Basis und ETCS+

Szenario	Gesamtkosten
ETCS-Basis	139,43 Mio. €
ETCS+	136,18 Mio. €

Aus der Kostenermittlung lassen sich für die Szenarios ETCS-Basis und ETCS+ folgende weiterführenden Handlungsempfehlungen ableiten:

Tabelle 87: Handlungsempfehlungen abgeleitet aus der Kostenermittlung

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
KS-1	Einsparung von Lichtsignalen Das Szenario ETCS+ ist kostenseitig vorteilhafter gegenüber dem Szenario ETCS-Basis aufgrund der Einsparungen, die gegenüber dem Szenario Ks ohne ETCS aber auch dem Szenario ETCS-Basis möglich sind. Dabei werden die Kosteneinsparungen insbesondere durch den Wegfall von Investitionskosten sowie pauschal	Das Szenario ETCS+ muss, inklusive der Rückfallebene, mit möglichst wenigen Lichtsignalen umgesetzt werden	PSU DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
	len Planungskosten und Kosten für Baustellen-einrichtung und Sipo/Sakra durch den Wegfall bzw. die Nicht-Installation von Lichtsignalen realisiert. Um diese Einsparungen zu realisieren oder weitere zu steigern sollten auf die Verwendung von Lichtsignalen, gerade auch im Zusammenhang mit der Gestaltung der Rückfallebene weitestmöglich verzichtet werden.		
KS-2	<p>Maximierung des ETCS Streckenausrüstungsbereichs</p> <p>In den Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ sind mit den Kostenkategorien „ETCS-Ready integrierte Bedienplätze für Level 2“ für die STW-Aufrüstung und „Tests“ sowie „Basis-Module“ für die ETCS Streckenausrüstung, signifikante Kostentreiber nicht direkt vom Umfang des ausgerüsteten ETCS-Streckenbereichs abhängig. Für diese Kostenkategorien bleibt die Höhe der jeweiligen Kosten bis zu einer bestimmten Größe des ausgerüsteten ETCS Streckenbereichs konstant oder steigt unterproportional, um dann überproportional anzusteigen („Sprung-fixe Kosten“). Unter der Annahme, dass die ETCS-Streckenausrüstung, auch größere ETCS-Streckenbereiche steuern kann, lässt sich daraus die Handlungsempfehlung ableiten, den ETCS-Ausrüstungsbereichen über den Untersuchungsbereich der Machbarkeitsstudie im ersten Betrachtungsraum hinaus auszudehnen.</p>	<p>Der ETCS-Streckenausrüstungsbereich für die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ muss bis an die Kapazitätsgrenze der ETCS-Streckenausrüstung ausgedehnt werden</p>	PSU DB Netz AG

5.2.1.3 Methodik

5.2.1.3.1 Generell

Im Rahmen der Kostenermittlung wird ein Kostenkalkulationstool aufgebaut, das eine Kostenermittlung entlang der definierten Szenarien (siehe Kapitel 1.3.2) sowie der relevanten Systemkomponenten ermöglicht.

Im Rahmen der Kostenermittlung wird eine reine Gesamtwertumfangsbetrachtung (GWU) und damit keine Betrachtung von Betriebskosten und auch keine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt. Außerdem wird die Kostenermittlung nicht in einer Jahresscheibenbetrachtung untergliedert.

Im Rahmen der Aufgabenstellung für den ersten Schritt der ETCS-Untersuchung wird der Fokus auf die Szenarien Ks ohne ETCS, ETCS-Basis und ETCS+ gelegt. Die weiterführenden Szenarien ATO-Light und ATO/TMS

sowie ggf. die Betrachtung von erweiterten Ausrüstungsbereichen werden im zweiten Schritt der ETCS-Untersuchung untersucht.

Grundsätzlich wird die Kostenermittlung als eine Delta-Betrachtung der relevanten Szenarien jeweils zum Basis-Szenario „KS ohne ETCS“ vorgenommen (siehe Abbildung 103)

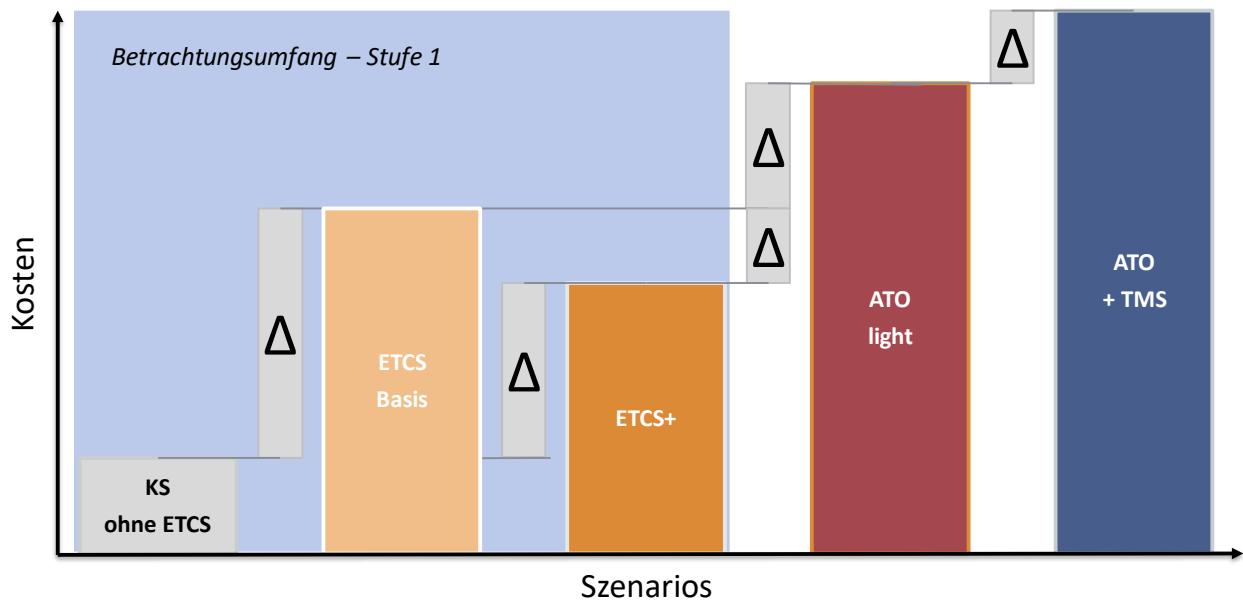


Abbildung 103: Prinzipielle Darstellung: Kostenermittlung als Delta-Betrachtung der Ausrüstungsszenarien

5.2.1.3.2 Kostenstruktur

Die Kostenstruktur beschreibt die Struktur und den Aufbau der Kostenermittlung sowie deren prinzipielle Umsetzung im Kalkulationstool. Die Kostenstruktur führt dabei einzelne Kostenpositionen über die Systemausrüstungen zu Gesamtkosten pro Szenario zusammen. Die nachfolgende Abbildung 104 skizziert diese Beziehungen beispielhaft (Es sind nur einige Kostenpositionen und Zuordnungen exemplarisch aufgeführt).

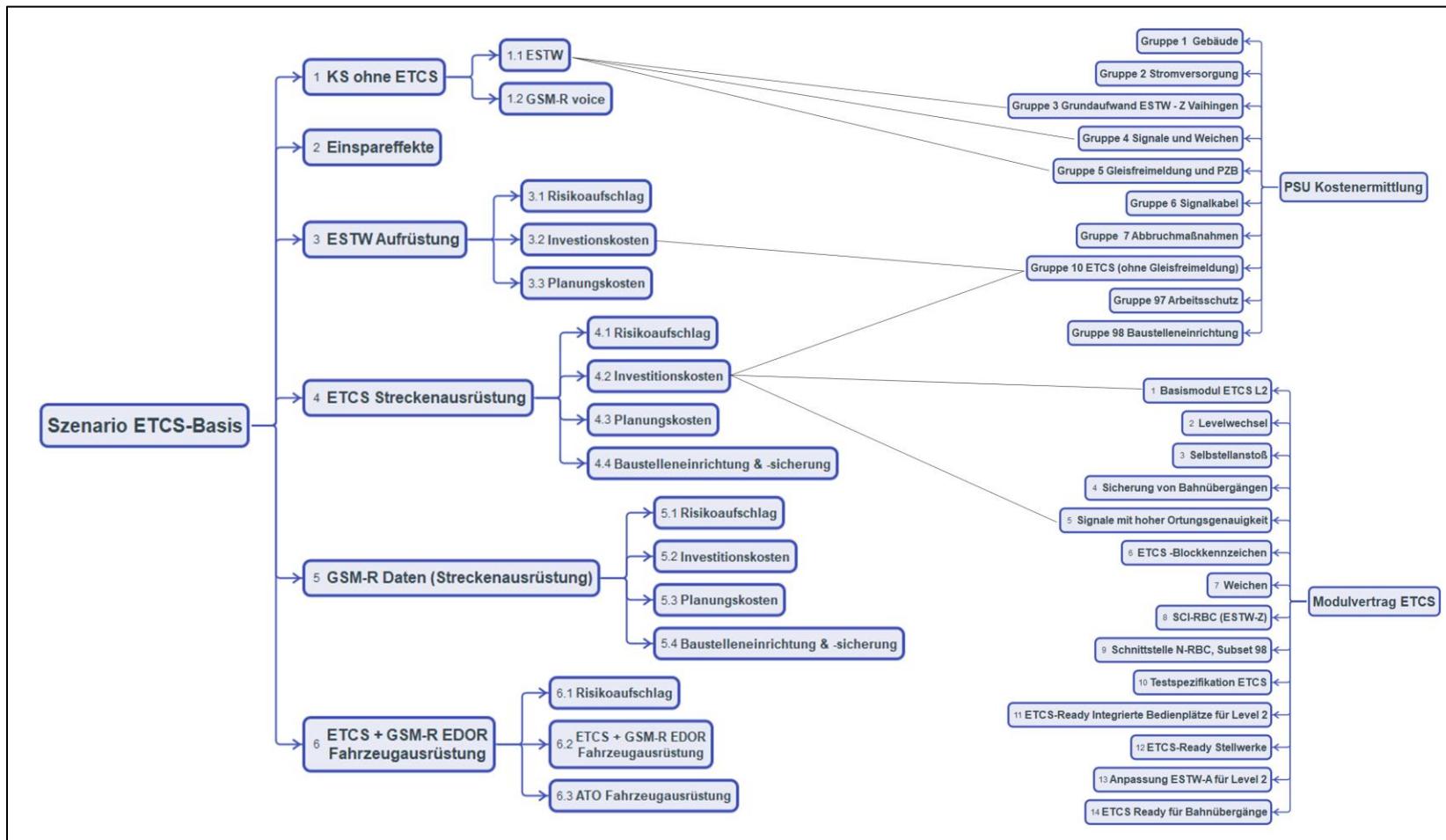


Abbildung 104: Kostenstruktur des Szenarios ETCS-Basis und beispielhafte Zuordnung einzelner Inputdaten

In der Abbildung 104 ist dieser Aufbau beispielhaft an dem Szenario ETCS-Basis dargestellt. Auf der linken Bildhälfte ist die Kostenstruktur von den Szenarien, über die Systemausrüstung (Einstellige Nummerierung, im Weiteren Systemkategorien (SK)) bis hin zu den einzelnen Kostenpositionen (Zweistellige Nummerierung, im Weiteren Standardkategorien (STK)) aufgeführt. Auf der rechten Seite sind exemplarisch zwei Inputquellen, die PSU-Kostenermittlung und die Kostenkalkulation nach dem Modulvertrag „MV2 ETCS“ (siehe Kapitel 4.2.4), mit jeweils beispielhaften einzelnen Kostenpositionen gegenübergestellt. Die einzelnen Kostenpositionen der Inputquellen sind in einem Zwischenschritt den einzelnen Kostenpositionen der Kostenermittlung zugeordnet, was in der Abbildung 104 beispielhaft durch Verbindungslien dargestellt ist.

Wie in dem Kapitel 5.2.2 aufgeführt fließen in die Kostenermittlung Daten weiterer Inputquellen ein, so dass den allen Kostenkategorien in der Kostenstruktur der Kostenermittlung qualifizierte Inputdaten gegenüberstehen.

Ausgangspunkt für die Definition der Kostenstruktur sind die Szenarien und die eingesetzten Systemtechniken als Systemkategorien. Unterhalb der Systemtechniken wiederum sind weiterführende Standardkategorien definiert. Unterhalb dieser Standardkategorien sind einzelne Kostenpositionen definiert, die spezifisch für die Input-Quellen sind und darum nicht weiter vereinheitlicht werden können. Die weitere Betrachtung erfolgt auf den Ebenen der Szenarien, Systemkategorie und Standardkategorien.

In Tabelle 88 ist diese generelle Kostenstruktur beschrieben. Entlang der Kostenstruktur sind weiterführende Annahmen und die zugrunde gelegten Quellen aufgeführt.

Tabelle 88: Strukturierung der Kostenschätzung

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
Szenario Ks o. ETCS			Gesamtkosten für das Szenario Ks ohne ETCS	---
	ESTW		Kosten des Systems ESTW, im Rahmen des Szenarios Ks ohne ETCS	---
		Investitionskosten	Investitionskosten für das System ESTW, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive Grundaufwand ESTW-Z Vaihingen, Gebäude, Außenanlagen, Stromversorgung, Signalkabel und Abbruchmaßnahmen	PSU Kostenschätzung

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
		Planungskosten	Planungskosten für ESTW, für die Ausführungsplanung (PT1 und PT2) und die Anpassung der Entwurfsplanung, gegenüber dem jetzigen Stand	PSU Kostenschätzung
		Baustelleneinrichtung + Sipo/Sakra	Kosten für die Baustelleneinrichtung und Arbeitsstellensicherung (Sipo/Sakra) während der Installation des Systems ESTW	PSU Kostenschätzung
		Risikoaufschlag	Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten des Systems ESTW Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen	Annahme InGe
	GSM-R Zugfunk		Gesamtkosten des Systems GSM-R-Zugfunk, im Rahmen des Szenarios Ks ohne ETCS	---
		Streckenausrüstung	Kosten für die Implementierung von GSM-R-Zugfunk auf der Streckenseite, inklusive Planungskosten der Leistungsphasen 1-9 und Baukosten (inklusive Baustelleneinrichtung + Sipo/Sakra)	GSM-R Zugfunk
		Fahrzeugausrüstung	Kosten für die Implementierung von GSM-R-Zugfunk auf der Fahrzeugseite	---
		Risikoaufschlag	Risikoaufschlag auf die Kosten der Fahrzeugausrüstung des Systems GSM-R-Zugfunk	Annahme InGe
Szenario ETCS-Basis			Gesamtkosten für das Szenario ETCS-Basis Das Szenario ETCS Basis setzt auf dem Szenario Ks ohne ETCS auf, so dass die Kosten Szenario Ks ohne ETCS inkl. Risikoaufschlag übernommen werden können und um die Kosten für die zusätzlichen Systemkomponenten ergänzt werden	---

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
	Kosten Szenario "Ks o. ETCS"		Gesamtkosten für das Szenario Ks ohne ETCS, als Teil der Gesamtkosten für das Szenario ETCS-Basis	---
	ESTW Aufrüstung		Zusätzliche Kosten für die Aufrüstung des Systems ESTW, im Rahmen des Szenarios ETCS-Basis im Vergleich zum Ausrüstungsstand im Szenario Ks ohne ETCS	---
		Investitionskosten	Investitionskosten für die ESTW-Aufrüstung, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen: <ul style="list-style-type: none"> - ETCS-Ready-integrierte Bedienplätze für Level 2 - ETCS-Ready-Anpassung Stellwerke - Anpassung der relevanten Planungsrichtlinie Ril 819.01 (voraussichtlich durch UiG) 	Kostenkalkulation nach Modulvertrag „MV2 ETCS“ (ETCS ready) PSU Kostenschätzung (Telekommunikation) Planungsrichtlinie ESTW
		Planungskosten	Im Rahmen der ESTW-Planungskosten des Szenarios Ks ohne ETCS berücksichtigt	Planung ESTW ETCS-Basis/ETCS+
		Risikoaufschlag	Risikoaufschlag auf die zusätzlichen Kosten des Systems ESTW Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen	Annahme InGe
	ETCS Streckenausrüstung		Kosten für die Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, im Rahmen des Szenarios ETCS-Basis.	---
		Investitionskosten	Investitionskosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen für die ETCS-Level-2-Grundausrüstung:	Kostenkalkulation nach Modulvertrag „MV2 ETCS“ Planungsrichtlinie ETCS

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
			<ul style="list-style-type: none"> - Basis-Module, Regelbetrieb ETCS - Integration Signale (e.g. Signale mit hoher Ortungsgenauigkeit, ETCS -Blockkennzeichen etc.), Weichen sowie Schnittstellen und RBC-Anbindung - Tests 	
		Planungskosten	Planungskosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, für die Ausführungsplanung	Kostenkalkulation nach Modulvertrag „MV2 ETCS“ Prozentualer Aufschlag auf die Investitionskosten
		Baustelleneinrichtung + Sipo/Sakra	Kosten für die Baustelleneinrichtung und Arbeitsstellensicherung (Sipo/Sakra) während der Installation des Systems ETCS Level 2	PSU Kostenschätzung
		Risikoaufschlag	<p>Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2</p> <p>Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen</p>	Annahme InGe
	GSM-R (Upgrade Daten) Streckenausrüstung		Kosten für die Hochrüstung von GSM-R-Sprach- und Datenfunk, im Rahmen des Szenarios ETCS-Basis.	---
		Investitionskosten	<p>Zusätzliche Investitionskosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - BTS-Standorte (Redundanz) 	GSM-R Kosten ERTMS-A-System

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
			<ul style="list-style-type: none"> - Antenne/Schlitzkabel - Projektierung/Lieferung/Montage/IBN - Zulassung/Prüfung/Abnahme - ERTMS Analysetool (Erweiterung) 	
		Planungskosten	Planungskosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk	GSM-R Kosten
		Baustelleneinrichtung + Sipo/Sakra	Kosten für die Baustelleneinrichtung und Arbeitsstellensicherung (Sipo/Sakra) während der Installation des Systems GSM-R-Datenfunk	GSM-R Kosten
		Risikoaufschlag	<p>Risikoaufschlag auf die zusätzlichen Kosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk</p> <p>Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen</p>	Annahme InGe
	ETCS + GSM-R-EDOR-Fahrzeugausrüstung		Kosten für die Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk und ATO, im Rahmen des Szenarios ETCS-Basis.	---
	ETCS + GSM-R-EDOR-Fahrzeugausrüstung		Kosten für die Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk	Fahrzeug ETCS/GSM-R
	ATO-Fahrzeugausrüstung		Kosten für die Fahrzeugausrüstung des Systems ATO	Fahrzeug ETCS/GSM-R
	Risikoaufschlag		Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten der Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk und ATO	Annahme InGe
Szenario ETCS+			Gesamtkosten für das Szenario ETCS+	---

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
			Das Szenario ETCS Basis setzt auf dem Szenario Ks ohne ETCS auf, so dass die Kosten Szenario Ks ohne ETCS inkl. Risikoauschlag übernommen werden können und um die Kosten für die zusätzlichen Systemkomponenten ergänzt werden	
	Kosten Szenario "Ks o. ETCS"		Gesamtkosten für das Szenario Ks ohne ETCS, als Teil der Gesamtkosten für das Szenario ETCS+	---
	MINUS Einsparungseffekt "ETCS vor Ks"		<p>Einsparungen durch die Systemarchitektur im Szenario ETCS+ gegenüber Szenario Ks ohne ETCS. Dabei werden Investitionskosten sowie pauschal Planungskosten und Kosten für Baustelleneinrichtung und Sipo/Sakra als Einsparungen berücksichtigt.</p> <p>Die Einsparungen umfassen u. a. folgende Kostenpositionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zuglenkung - Mehrabschnittssignal Innenanlage und Außenanlage - Vorsignalwiederholer Innenanlage und Außenanlage - Zusatzsignal Innenanlage und Außenanlage - Zs 3 Formsignal - Geschwindigkeitsprüfabschnitt - Verkabelung - Zuschläge - Planungskosten - Baustelleneinrichtung und Sipo/Sakra 	Kosteneinsparung ETCS+
	ESTW Aufrüstung		Zusätzliche Kosten für die Aufrüstung des Systems ESTW, im Rahmen des Szenarios ETCS+ im Vergleich zum Ausrüstungsstand im Szenario Ks ohne ETCS	---

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
		Investitionskosten	<p>Investitionskosten für die ESTW-Aufrüstung, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ETCS-Ready-integrierte Bedienplätze für Level 2 - ETCS-Ready-Anpassung Stellwerke - Szenario-spezifische Anpassentwicklung - Anpassung der relevanten Planungsrichtlinie Ril 819.01 (voraussichtlich durch UiG) 	Modulvertrag MV2-ETCS-Kostenkalkulation (ETCS-ready) PSU Kostenschätzung (Telekommunikation) Planungsrichtlinie ESTW
		Planungskosten	Im Rahmen der ESTW-Planungskosten des Szenarios Ks ohne ETCS berücksichtigt	Planung ESTW ETCS-Basis/ETCS+
		Risikoaufschlag	<p>Risikoaufschlag auf die zusätzlichen Kosten des Systems ESTW</p> <p>Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen</p>	Annahme InGe
	ETCS-Streckenausrüstung		Kosten für die Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, im Rahmen des Szenarios ETCS+.	---
		Investitionskosten	<p>Investitionskosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen für die ETCS-Level-2-Grundausrüstung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Basis-Module, Regelbetrieb ETCS - Integration Signale (e.g. Signale mit hoher Ortungsgenauigkeit, ETCS-Blockkennzeichen etc.), Weichen, Schnittstellen und RBC-Anbindung - Anpassung Gamma-Bremsmodell Strecke 	Modulvertrag MV2-ETCS-Kostenkalkulation Planungsrichtlinie ETCS

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
			<ul style="list-style-type: none"> - Szenario-spezifische Anpassungsentwicklung - Tests 	
		Planungskosten	Planungskosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, für die Ausführungsplanung	Modulvertrag MV2-ETCS-Kostenkalkulation Prozentualer Aufschlag auf die Investitionskosten
		Baustelleneinrichtung + Arbeitsstellen-sicherung	Kosten für die Baustelleneinrichtung und Arbeitsstellensicherung (Sipo/Sakra) während der Installation des Systems ETCS Level 2	PSU Kostenschätzung
		Risikoaufschlag	<p>Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten der Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2</p> <p>Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen</p>	Annahme InGe
	GSM-R (Upgrade Daten) Streckenausrüstung		Kosten für das Upgrade der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten) von GSM-R-Zugfunk, im Rahmen des Szenarios ETCS+.	---
		Investitionskosten	<p>Zusätzliche Investitionskosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R Datenfunk (Upgrade Daten), bestehend aus Baukosten, Materialkosten, Entwicklungskosten etc., inklusive folgender Kostenpositionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - BTS-Standorte (Redundanz) - Antenne/Schlitzkabel - Projektierung/Lieferung/Montage/IBN - Zulassung/Prüfung/Abnahme 	GSM-R Kosten ERTMS A-System

Szenario	Systemkategorien	Standard-kategorien	Beschreibung / Definition	Inputdaten / Inputquelle (Siehe Beschreibung Kapitel 5.2.2)
			- ERTMS-Analysetool (Erweiterung)	
		Planungskosten	Planungskosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten)	GSM-R-Kosten
		Baustelleneinrichtung + Arbeitsstellen-sicherung	Kosten für die Baustelleneinrichtung und Arbeitsstellensicherung (Sipo/Sakra) während der Installation des Systems GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten)	GSM-R-Kosten
		Risikoaufschlag	Risikoaufschlag auf die zusätzlichen Kosten der Streckenausrüstung des Systems GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten) Der Risikoaufschlag wird auf die Kostenpositionen Investitionskosten, Planungskosten aufgeschlagen	Annahme InGe
	ETCS + GSM-R EDOR-Fahrzeugausrüstung		Kosten für die Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten) und ATO, im Rahmen des Szenarios ETCS+.	---
		ETCS + GSM-R EDOR-Fahrzeugausrüstung	Kosten für die Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten)	Fahrzeug-ETCS/GSM-R
		ATO-Fahrzeugausrüstung	Kosten für die Fahrzeugausrüstung des Systems ATO	Fahrzeug-ETCS/GSM-R
		Risikoaufschlag	Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten der Fahrzeugausrüstung der Systeme ETCS und GSM-R-Datenfunk (Upgrade Daten) und ATO	Annahme InGe

5.2.1.3.3 Kalkulationstool

Die in der Tabelle aufgeführte Kostenstruktur ist in einem Kalkulationstool auf der Basis Microsoft Excel 2016 umgesetzt, um eine erste Bewertung der Szenarien im Vergleich zum Ausgangsszenario vornehmen zu können. Dabei handelt es sich um eine reine Gesamtwertumfangsbetrachtung (GWU).

5.2.2 Inputdaten, Prämissen und Quellen

5.2.2.1 Inputdaten

Für die Kostenermittlung sind Inputdaten aus verschiedenen Quellen von Experten-Befragung, über qualifizierte Schätzungen bis hin zu Kostenkalkulation unter Nutzung der Kalkulationstools der Modulverträge für ETCS und ESTW eingeflossen. Im Einzelnen werden folgende Quellen bzw. Inputdaten genutzt:

Tabelle 89: Übersicht über die Quellen und Inputdaten für die Kostenermittlung

Quellentitel	Beschreibung der Quelle	Stand	Quellen-Verantwortliche
Modulvertrag MV2 ETCS Kostenkalkulation	<p>Kostenkalkulation mittels des ETCS Kalkulationstool für den ETCS Modulvertrag</p> <p>Fokus auf die Kostenkategorien B.2.1 ETCS Level 2 Grundausstattung sowie eine prozentuale Abschätzung der Planungskosten</p> <p>Wenn weitere Inputdaten für dieselben Kostenpositionen oder Kostenkategorien über andere Quellen verfügbar sind, wurden diese zur Verifikation der Daten genutzt. Grundsätzlich werden aber die Daten aus der Kostenkalkulation mittels des ETCS Kalkulationstools für den ETCS Modulvertrag für die Kostenermittlung zugrunde gelegt.</p>	16.02.18	DB Netz AG, I.NXS
Modulvertrag MV4 ESTW Kostenkalkulation	<p>Kostenkalkulation mittels des ESTW-Kalkulationstool („XStwExpress“) für den ESTW-Modulvertrag</p> <p>Wenn weitere Inputdaten für dieselben Kostenpositionen oder Kostenkategorien über andere Quellen verfügbar sind, wurden diese zur Verifikation der Daten genutzt. Grundsätzlich werden aber die Daten aus der Kostenkalkulation mittels des ETCS-Kalkulationstools für den ETCS-Modulvertrag für die Kostenermittlung zugrunde gelegt.</p>	12.03.18	DB Netz AG, I.NPS 422
PSU Kostenschätzung	<p>Teilkostenanschlag buchhalterische Sicht</p> <p>Projekt: EP - TEH Stuttgart 21</p>	19.12.17	PSU
Kosteneinsparung ETCS+	Einsparungen, die durch ETCS+ Szenario gegenüber dem Ks Szenario erreicht werden können	07.02.18	PSU
GSM-R Zugfunk	Kommunikation und Bestätigung der Kosten aus der Projektleitung GSM-R per E-Mail	19.01.18	DB Netz AG, I.CPR-S-LB

Quellentitel	Beschreibung der Quelle	Stand	Quellen-Verantwortliche
Planungsrichtlinie ESTW	Qualifizierte Expertenschätzung, nach der Bestätigung durch DB Mitarbeiter, dass keine Anpassung der Planungsrichtlinie Ril 819.0508 erfolgt und Abweichungen über UiGs behandelt werden	15.01.18	Schätzung InGe Plausibilisierung DB Netz AG, I.NPS 321 / PSU
Planungsrichtlinie ETCS	Qualifizierte Expertenschätzung der Anpassung der Planungsrichtlinie Ril 819.1343/1344	09.03.18	Schätzung InGe Plausibilisierung DB Netz AG, I.NPS 321 / PSU
ERTMS A-System	Kosten für die Erweiterung des ERTMS-Analysesystems im Projekt S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart	15.12.17	DB Netz AG, I.NPS 241
Fahrzeug ETCS/GSM-R	Qualifizierte Expertenschätzung in Marktabfrage	16.02.18	S-Bahn Stuttgart, P.RM-SBS-B
GSM-R Upgrade Daten	Detaillierte Kostenkalkulation für das Upgrade des GSM-R-Zugfunks um GSM-R-Datenfunk	22.01.18	Kalkulation InGe
Planung ESTW ETCS-Basis/ETCS+	Siehe Prämisse „Anpassung Entwurfsplanung“ in Kapitel 5.2.2.2	09.03.18	---

5.2.2.2 Prämissen und Annahmen

In der folgenden Tabelle werden alle Prämissen und Annahmen aufgelistet, die in der Kostenkalkulation berücksichtigt sind.

Tabelle 90: Der Kostenermittlung zugrunde gelegte Prämissen und Annahmen

Titel	Beschreibung	Quelle
Anpassung BTSF	Der CR 953 (Verkürzung Mindestblocklänge) wird in der Kostenkalkulation als generische Kosten berücksichtigt	DB Netz AG, I.NPS 321
Anpassung ESTW Planungs-Ril 819.0508	Es erfolgt keine Anpassung der Planungs-Ril 819.0508. Abweichungen werden als UiG behandelt	DB Netz AG, I.NPS 331

Titel	Beschreibung	Quelle
Schulungen Streckenseite	Es werden keine Schulungen als Kostenkategorie für die Streckenseite berücksichtigt, unter der Annahme, dass die Schulungen durch das Fernbahuprojekt Stuttgart 21 getragen werden	Abstimmungsmeeting AG und InGe, 01.02.2018
GSM-R Zugfunk Fahrzeugausrüstung	Es werden keine Kosten für GSM-R-Zugfunk-Fahrzeugausrüstung angesetzt, da die Fahrzeuge bereits mit Zugfunk ausgerüstet sind und lediglich die Streckenausrüstung nachgerüstet werden muss	Abstimmungsmeeting AG und InGe, 21.02.2018
Gamma-Modell	Es wird für die Fahrzeugseite davon ausgegangen, dass für die Implementierung / Nutzung des ETCS-Gamma-Modells keine zusätzlichen Kosten anfallen, sondern die Implementierung im Rahmen der Projektierung / Konfiguration stattfindet. Es wird für die Streckenseite davon ausgegangen, dass für die Implementierung / Nutzung des ETCS-Gamma-Modells zusätzliche Kosten anfallen, da zusätzliche Parameter ermittelt werden müssen. Diese Kosten sind explizit in den Investitionskosten für die Streckenausrüstung des Systems ETCS Level 2, im Rahmen des Szenarios ETCS+ berücksichtigt	DB Systemtechnik AG, I.T-IVE 31(2)
Anpassung Entwurfsplanung	<p>Es wird angenommen, dass für das Szenario Ks ohne ETCS die bestehende Entwurfsplanung ESTW angepasst werden muss, da die EP insbesondere von sehr kurzen Blockabständen ausgeht, die wahrscheinlich nicht umgesetzt werden können.</p> <p>Diese Kosten werden in dem Szenario Ks ohne ETCS dem System ESTW als Kostenposition "Anpassung EP" zugeordnet</p>	Abstimmung PSU (I.GT(I)), I.NPS 321 und InGe AG Planung
Anzahl STE PSU-ETCS	<p>Die Anzahl der Stelleinheiten, die der EP in der PSU-Kostenschätzung für die Szenarien Ks ohne ETCS und ETCS-Basis zugrunde liegt, weicht von der Anzahl der Stelleinheiten ab, die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie für die Szenarien ermittelt worden sind.</p> <p>Der Grund für die Abweichung ist, dass die EP der PSU auf der Annahme von 22 m Blöcken basiert, wohingegen die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ eine Mindestlänge von rund 50 m vorsehen, was wiederum auf einem Entwurfsstand des CR 953 basiert.</p> <p>Dies hat zwei Auswirkungen:</p> <p>Zum einen muss die ESTW EP für die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ angepasst werden (siehe vorherigen Punkt).</p> <p>Zum anderen sind die Kosten der Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ als zu hoch in der Kalkulation geschätzt. Da nach einer ersten Schätzung ca. 10 Achszähler betroffen sind, ist dieser Effekt als eher gering einzuschätzen.</p>	Abstimmung PSU (I.GT(I)) und InGe AG Planung

Titel	Beschreibung	Quelle
Einsparpotential ETCS+	<p>Mit dem Szenario ETCS+ besteht die Möglichkeit von Einspareffekten bei den Kosten gegenüber dem Szenario Ks ohne ETCS zu realisieren. Dabei werden Investitionskosten sowie pauschal Planungskosten und Kosten für Baustelleneinrichtung und Sipo/Sakra als Einsparungen berücksichtigt.</p> <p>Weitere mögliche Einsparungen über ausbleibende/vermiedene Investitionen benötigen Festlegungen über die akzeptierte Leistungsfähigkeit der Rückfallebene Ks als zusätzliche Rückfallebene.</p> <p>Als Prämisse für die beschriebene Einsparung von Kosten statt eines nachträglichen Rückbaus gilt dabei das Inbetriebnahmekonzept, das eine vorzeitige Ausrüstung der Fahrzeuge vor Teilinbetriebnahme der bisherigen Stammstrecke erfordert.</p>	Abstimmung PSU (I.GT(I))
Planungskosten	<p>Die Planungskosten sind in drei verschiedenen Dimensionen in die Kostenermittlung eingeflossen:</p> <p>Im Rahmen der PSU-Kostenschätzung werden für die ESTW und ETCS Implementierung im Zusammenhang mit dem Szenario Ks ohne ETCS und ETCS-Basis für die Ausführungsplanung explizit Kosten abgeschätzt. Dazu wird in dem Teilkostenanschlag die Kostengruppe 096 „Ausführungsplanung“ genutzt. Vorhergehende Planungskosten (z. B. Grundlagenermittlung und Entwurfsplanung) sind in den Kosten für das Szenario Ks ohne ETCS enthalten.</p> <p>Im Rahmen der Modulvertrag MV2-ETCS-Kostenkalkulation wurde basierend auf den Investitionskosten für ETCS und ESTW (ohne Baustelleneinrichtung und Sipo/Sakra) ein prozentualer Aufschlag als Planungskostenpauschale definiert (siehe auch Kapitel 5.2.2.3)</p> <p>Die Kostenermittlung für die Anpassung der Entwurfsplanung in dem Szenario Ks ohne ETCS (siehe gleichnamigen Punkt in dieser Tabelle) basiert auf Expertenschätzungen durch die InGe, die mit dem Auftraggeber abgestimmt sind.</p>	
Risikoaufschlag	<p>Der Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten der Systeme ESTW, GSM-R Zugfunk, ESTW Aufrüstung und GSM-R (Upgrade Daten) Streckenausrüstung in allen betrachteten Szenarien wird mit 5 % angesetzt. (siehe auch Kapitel 5.2.2.3)</p> <p>Der Risikoaufschlag auf die Gesamtkosten des Systems ETCS + GSM-R EDOR Fahrzeugausrüstung in den Szenarien ETCS-Basis und ETCS+ wird mit 0 % angesetzt. (siehe auch Kapitel 5.2.2.3)</p> <p>Der Risikoaufschlag wird auf alle weiteren Kostenpositionen (Investitionskosten, Planungskosten, Baustelleneinrichtung etc.) aufgeschlagen</p>	---

5.2.2.3 Risikofaktor und Planungskostenpauschale

In die Kostenermittlung sind folgende pauschalen Parameter für den Risikoauflschlag sowie für die Planungskostenpauschale für die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+, ETCS Streckenausrüstung (RBC + Balisen) angenommen worden.

Tabelle 91: Pauschale Parameter für Risikoauflschlag und pauschale Planungskosten nach System- und Standardkategorien je Szenario

Szenario	Systemkategorien	Standardkategorien	Faktoren
Ks o. ETCS	ESTW (Stand Modulvertrag MV4)		
		Risikofaktor	5,00 %
	GSM-R Zugfunk		
		Risikofaktor Streckenausrüstung	5,00 %
		Risikofaktor Fahrzeugausrüstung	5,00 %
ETCS-Basis	Kosten Szenario "Ks o. ETCS"		
	ESTW-Ausrüstung gegenüber Ks o. ETCS		
		Risikofaktor	5,00 %
	ETCS-Streckenausrüstung (RBC + Balisen)		
		Risikofaktor	5,00 %
		Planungskostenpauschale	30,00 %
	GSM-R (Delta von Zugfunk zu Datenfunk) Streckenausrüstung		
		Risikofaktor	5,00 %
	ETCS- + GSM-R-EDOR-Fahrzeugausrüstung		
		Risikofaktor	0,00 %
ETCS+	Kosten Szenario "Ks o. ETCS"		
	ESTW-Ausrüstung gegenüber Ks o. ETCS		
		Risikofaktor	5,00 %

Szenario	Systemkategorien	Standardkategorien	Faktoren
	ETCS-Streckenausrüstung (RBC + Balisen)		
		Risikofaktor	5,00 %
		Planungskostenpauschale	30,00 %
	GSM-R (Delta von Zugfunk zu Datenfunk) Streckenausrüstung		
		Risikofaktor	5,00 %
	ETCS- + GSM-R-EDOR-Fahrzeugausstattung		
		Risikofaktor	0,00 %

Die Risikoaufschläge sind durch qualifizierte Expertenschätzungen des Auftraggebers und der InGe definiert worden.

Die Risikoaufschläge werden in der Kostenermittlung berücksichtigt, da die vorliegenden Machbarkeitsstudie an einem frühen Zeitpunkt der Planung erstellt wird, der naturgemäß mit Unsicherheiten bezüglich der eingesetzten Systemtechnik, der konkreten Implementierung, der Planung, der erzielbaren Marktpreise etc. behaftet ist.

5.2.2.4 Mengengerüst

Des Weiteren sind folgenden Mengengerüste, der Kostenkalkulation Modulvertrag ETCS (Tabelle 92) und der PSU Kostenschätzung (Tabelle 93) als Basis in die Kostenermittlung eingegangen.

Tabelle 92: Mengengerüste der Kostenkalkulation Modulvertrag ETCS (siehe Kapitel 5.2.2.1, MV4 ETCS Kostenkalkulation)

Übergeordnete Kategorie	Detailaspekt	Sz ETCS-Basis	Sz ETCS+	Einheit & Kommentare
Fahrzeuge	Auszurüstende Fahrzeuge	157	157	Jeweils mit GSM-R Datenfunk und ETCS auszurüsten
Basis-Module	Basismodul ETCS L2	8,5	8,5	km Strecke
	ETCS L2, eingleisig	0,0	0,0	Anz. Nebengleise
Regelbetrieb ETCS	Levelwechsel	12	12	Anz. Ein- und Ausstiege
	Selbststellaanstoß	71	51	Anz. je Haupt-Signal

Übergeordnete Kategorie	Detailaspekt	Sz ETCS-Basis	Sz ETCS+	Einheit & Kommentare
	Teilblockmodus und Dunkelschaltung	59	39	pro HS der durchgehenden Hauptgleise und Teilblocksignale
	Richtungsanzeiger	2	2	
Streckenbezogene Kosten	Sicherung von Bahnübergängen	0	0	Bahnübergänge
	Bereiche mit Metallmassen am Fahrweg	0	0	Stahlbrücken + BMM je BÜ
	Trusted Area	0	0	Anz. Trusted Area (Anz. HS abhängig: 50 % HS)
Signale	Signale mit normaler Ortsgenauigkeit	0	0	Anz. Signale mnO (idR 50/50)
	Signale mit hoher Ortsgenauigkeit	71	51	Anz. Signale mhO (idR 50/50)
	ETCS-Blockkennzeichen	113	128	Anz. LZB-Blockkennzeichen
	Lichtsperrsignale, an denen Züge beginnen / enden	0	0	Anz. Lichtsperrsignale
	Stellort HOA/FBOA auf Strecken mit PZB, v <= 160 km/h	0	0	Anz. HOA/FBOA
Weichen	Weichen	30	30	Weichen
Schnittstellen	Schnittstelle "H3 SZS mit SA-HARA" für RSTW	0	0	Anz. RSTW
	SCI-RBC (ESTW-Z)	1	1	Anz. ESTW-Z bzw. UZ
	Schnittstelle N-RBC, Subset 98	0	0	Anz. Nachbar-RBC
RBC-Anbindung	Anbindung RBC an vorbereitete BZ für integrierte Bedienung	0	0	
	Anbindung RBC an vorbereitete Z / UZ für integrierte Bedienung	1	1	
Tests				

Übergeordnete Kategorie	Detailaspekt	Sz ETCS-Basis	Sz ETCS+	Einheit & Kommentare
	Testspezifikation ETCS	1	1	Expertenschätzung / je Vorhaben
ETCS-ready-integrierte Bedienplätze für Level 2	Vorbereitung der BZ für integrierte Bedienplätze	0	0	Anz. Bedienplätze in BZ
	Vorbereitung der Z / UZ für integrierte Bedienplätze	2	2	Anz. Bedienplätze in UZ
ETCS-ready-Anpassung Stellwerke	Anbindung RBC an UZ/ESTW-Z (SCI und funktional)	1	1	Anz.
	Anpassung ESTW-A für Level 2	0	0	Anz.
	Anpassung LZB-Zentralen für Level 2	0	0	Anz.
	Fernsteuerung Relais-Stellwerke	0	0	Anz.
	Anz. betroffener Bahnübergänge	0	0	Anz. Bahnübergänge

Tabelle 93: Mengengerüste der PSU Kostenschätzung (siehe Kapitel 5.2.2.1, PSU Kostenschätzung)

Kostengruppen		Anzahl	Einheit
4	Signale und Weichen		
	Hauptsignal	2,00	Stk
	Mehrabschnittssignal	69,00	Stk
	Vorsignal bzw. Vorsignalwiederholer	41,00	Stk
	Rangiersignal	4,00	Stk
	Zusatzsignal 1- oder 2-begriffig	96,00	Stk
	Neubau Weichtyp - IBW 60-500-1:12	10,00	Stk
	Neubau Weichtyp - IBW 60-760-1:14	8,00	Stk
	Neubau Weichtyp - IBW EW 60-300-1:9	8,00	Stk
	Neubau Weichtyp - EW 60-500-1:11	4,00	Stk
5	Gleisfreimeldung und PZB		

Kostengruppen		Anzahl	Einheit
	Achszählab schnitt für Ks-Signalisierung	115	Stk
	Achszählab schnitt für ETCS Level 2	95	Stk
	Geschwindigkeitsprüfabschnitt	230	Stk
6	Signalkabel		
	Kupferkabel ohne Reduktion	100	km
	Kupferkabel mit Reduktion	20	km
	Lichtwellenkabel	30	km
7	Abbruchmaßnahmen		
	Signale		
	Rückbau Hauptsignal	35	Stk
	Rückbau Vorsignal bzw. Vorsignalwiederholer	30	Stk
	Weiche	12	Stk
	Achszählab schnitt	55	Stk
	Signalkabel	1	Stk
10	ETCS (ohne Gleisfreimeldung)		
	ETCS-Zentrale (RBC)		
	Zentrale	1	Stk
	Softwareprojektierung	1	Stk
	Sonstige Signale		
	Blockkennzeichen	175	Stk
	Ne 14-Tafel	71	Stk
	Festwert-Einzelbalisen	921	Stk
	Volumfängliche Messfahrt (ETCS Level 2)	27	km

5.2.3 Detaillierte Auswertung

Weiterführende, detaillierte Auswertung siehe Anhang 5 , im Kapitel 6 aufgelistet.

5.3 Kostenschätzung (Schritt 2)

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA2 des Arbeitspaketes AP4 aus der Leistungsbeschreibung.

5.3.1 Überblick

Ziel der Kostenermittlung der ETCS-Untersuchung ist die Ermittlung von Kosten für die Streckenausrüstung für die Ausrüstungsbereiche 2 und 3 sowie den Einsatz der technischen Systemszenarien ETCS+ und ATO-Light. Die Betrachtung der Kosten für die Fahrzeugausrüstung wird aus den Ergebnissen des ersten Schrittes der Kostenermittlung (siehe Kapitel 5.2) übernommen.

Aufbauend auf der Kostenermittlung des ersten Betrachtungsraums (siehe Kapitel 5.2) für die Szenarien ETCS-Basis und ETCS+, die auf den Untersuchungsbereich der Stammstrecke beschränkt war, fokussiert die Kostenermittlung des zweiten Betrachtungsraums auf die folgenden Aspekte und Untersuchungsbereiche

1. Systembetrachtung (Für den gesamten Betrachtungsraum)
 - a. Szenario ETCS+
 - b. Szenario ATO-Light
2. Baustein 1:
 - a. Ausrüstungsbereich 1: Stammstrecke von der Mittnachtstraße über die Station Universität bis zur Station Österfeld
 - b. Ausrüstungsbereich 2: Vaihingen inklusive der Station Goldberg (und Zulauf aus Böblingen), sowie angrenzende Teile der Panorama-Bahn
 - c. Ausrüstungsbereich 3: Vaihingen bis Flughafen, inklusive Filderstadt
3. Erweiterte Untersuchungsbereiche
 - a. Ausrüstungsbereich 4: Bad Cannstatt
 - b. Ausrüstungsbereich 5: Zuffenhausen
 - c. Ausrüstungsbereich 6: Neuhausen
4. Neuhausen

Außerdem werden separat Kosten für die Geschwindigkeitserhöhung im Tunnelbereich der Stammstrecke und die potenziellen Mehrkosten für eine Inbetriebnahme nach 2025, also den Weiterbetrieb des RSTWs im zentralen Untersuchungsbereich, ermittelt.

5.3.1.1 Fazit und Handlungsempfehlung

Die Kostenermittlung der ETCS-Untersuchung hat Gesamtkosten für den Baustein 1 und den erweiterten Untersuchungsbereich, in der Ausrüstung mit den technischen Szenarios „ETCS+“ und „ATO-Light“ sowie die Geschwindigkeitserhöhung im Tunnelbereich ermittelt. Die detaillierte Kostenaufschlüsselung ist im Anhang 6 dokumentiert.

In der folgenden Abbildung 105 sowie der Tabelle 94 sind diese Gesamtkosten in den jeweiligen Stufen prinzipiell dargestellt.

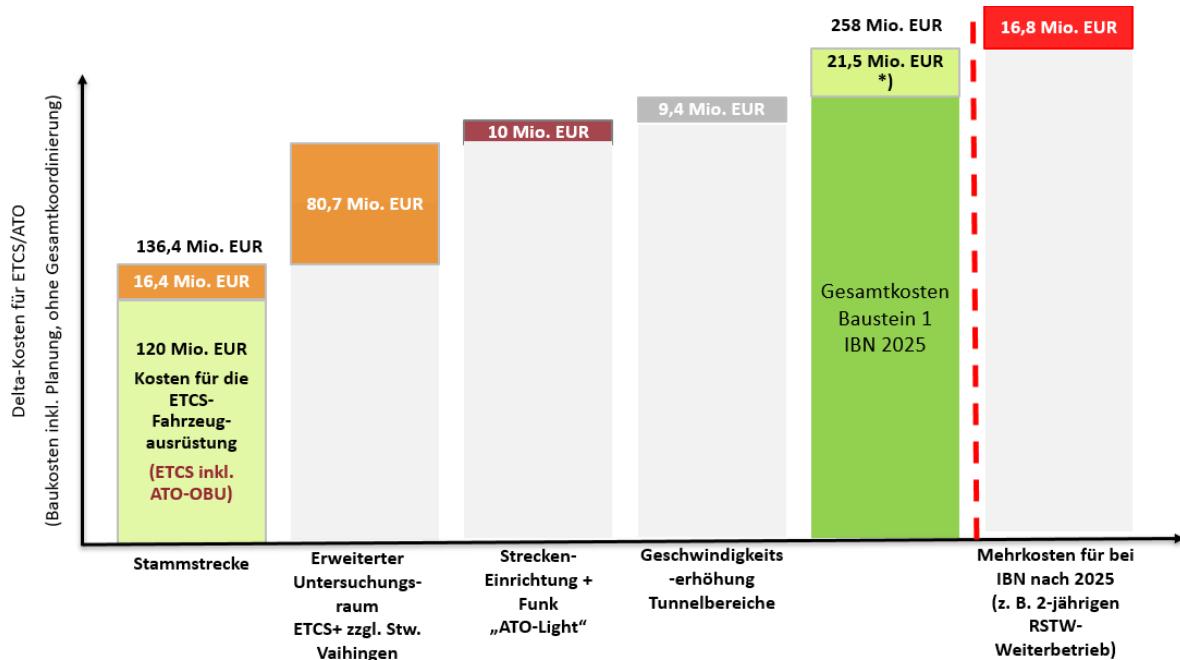


Abbildung 105: Kostenschätzung Stammstrecke und zentraler Untersuchungsbereich

*) infrastrukturseitiges Zusatzbudget für Pilotprojekt („Pauschale Risikokosten“)

Tabelle 94: Überblick Gesamtergebnis Kostenermittlung

Betrachtungsraum	Kosten	
Stammstrecke Mitte bis Schwabstraße Technik: ETCS+ (Schritt 1)	Streckenkosten	16,4 Mio. €
	Fahrzeugkosten	120,0 Mio. €
	Gesamtkosten	136,4 Mio. €
Stammstrecke Schwabstraße bis Österfeld Ausrüstungsbereiche 2 / 3 Technik: ETCS+ / ATO-Light / Geschwindigkeitserhöhung + pauschale Risikokosten (Schritt 2)	Streckenkosten	121,3 Mio. €
Gesamt (Baustein 1)		257,7 Mio. €
Ausrüstungsbereiche 4, 5 und 6 Technik: ETCS+ / ATO-Light	Streckenkosten	91,4 Mio. €
Gesamt (Baustein 1 und Ausrüstungsbereiche 4, 5 und 6)		349,1 Mio. €

Als Handlungsempfehlungen sind die Handlungsempfehlungen des ersten Schrittes der Kostenermittlung weiterhin relevant (siehe Kapitel 5.2.1.2).

Darüber hinaus hat die Betrachtung der Kostenentwicklung bei einer verzögerten Inbetriebnahme gezeigt, dass der Inbetriebnahmetermin auch aus dem Blickwinkel der Kosten gehalten werden sollte bzw. etwaige Verschiebungen zeitlich zu minieren sind.

Tabelle 95: Handlungsempfehlung aus Sicht des zweiten Schrittes der Kostenschätzung

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
KS-1	Einsparung von Lichtsignalen	Siehe erster Schritt	
KS-2	Maximierung des ETCS Streckenausrüstungsbereichs	Siehe erster Schritt	
KS-3	<p>Vermeidung einer Verschiebung der Inbetriebnahme</p> <p>Die Kostenermittlung für eine etwaige Verschiebung der Inbetriebnahme über 2025 hinaus und damit ein Weiterbetrieb des RSTWs hat gezeigt, dass damit signifikante Einmal-Kosten sowie laufenden Kosten verbunden sind.</p> <p>Daraus lässt sich als Handlungsempfehlung ableiten, dass die Verschiebung grundsätzlich zu vermeiden und wenn nicht möglich, zumindest soweit wie möglich zu begrenzen ist.</p>	<p>Die Verschiebung des Inbetriebnahmetermins (später in der Projektumsetzung) sollte gänzlich vermieden werden bzw. wenn nicht möglich doch soweit wie möglich begrenzt werden.</p>	PSU DB Netz AG
KS-4	Verifikation der Mengengerüste der Ausrüstungsbereiche 4, 5, 6	In einem weiteren Schritt, ggf. im Rahmen der Entwurfsplanung, sollten die Mengengerüste, die der Kostenermittlung, insbesondere für den erweiterten Betrachtungsraum, zugrunde gelegt worden sind, weiter erhärtet werden.	PSU DB Netz AG
KS-5	Härtung der Kostenkalkulation Ausrüstungsbereich 6	Neben der Erhärtung der Mengengerüste der Ausrüstungsbereiche 4, 5, 6 (siehe KS-4) sollte insbesondere für den Ausrüstungsbereich 6 (Neuhausen) die Kostenkalkulation nochmals explizit mit den MV-Kalkulationstools für ESTW, ETCS und GSM-R durchgeführt werden, um die ermittelten Kostenzahlen zu erhärten.	PSU DB Netz AG

ID	Handlungsempfehlung	Prämissen	Verantwortlich
KS-6	Betriebskosten / Wirtschaftlichkeits-rechnung	Um die Beschränkungen der reinen Gesamtwertumfangsbetrachtung aufzuheben, sollten in einem weiteren Schritt Betriebskosten ermittelt werden und eine Wirtschaftlichkeits-rechnung sowie eine Abbildung der Kosten über Jahresscheiben erfolgen.	PSU DB Netz AG

5.3.2 Methodik

5.3.2.1 Generell

Im Rahmen der Kostenermittlung wird eine reine Gesamtwertumfangsbetrachtung (GWU) und damit keine Betrachtung von Betriebskosten und auch keine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt. Außerdem wird die Kostenermittlung nicht in einer Jahresscheibenbetrachtung untergliedert.

Grundsätzlich wird die Kostenermittlung als eine Delta-Betrachtung der relevanten Szenarien jeweils zum ursprünglichen Ausrüstungsbereich im Schritt 1 vorgenommen. Außerdem wird für den Baustein 1 (verlängerte Stammstrecke, Vaihingen und Flughafen) eine Delta-Betrachtung der Ausrüstung mit ETCS+ und ATO-Light im Vergleich zur reinen konventionellen Ausrüstung mit Ks-Signalisierung erstellt. Die Abbildung 106 verdeutlicht dies, und stellt die Mehrkosten von ETCS+ und ATO-Light im Vergleich zur Stammstrecke dar.

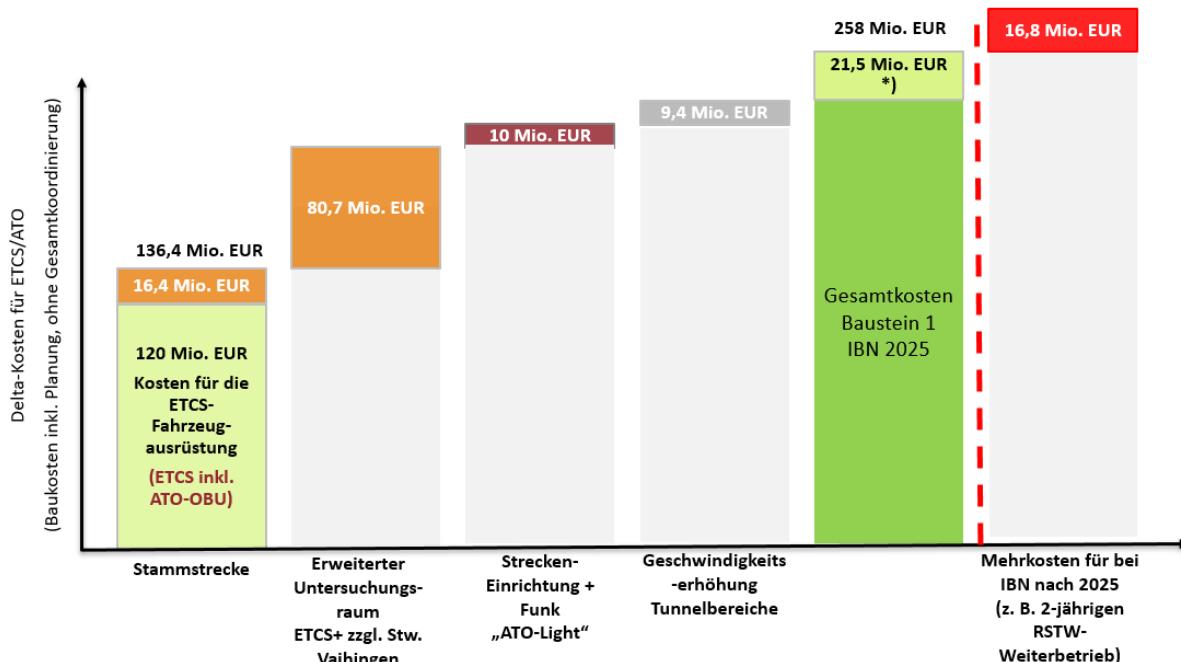


Abbildung 106: Kostenschätzung Stammstrecke und zentraler Betrachtungsraum

*) infrastrukturseitiges Zusatzbudget für Pilotprojekt („Pauschale Risikokosten“)

Darüber hinaus werden separat Kosten für die Geschwindigkeitserhöhung im Tunnelbereich der Stammstrecke und die potenziellen Mehrkosten für eine Inbetriebnahme nach 2025, also den Weiterbetrieb des RSTWs im zentralen Betrachtungsraum, ermittelt.

5.3.2.2 Betrachtungsräume

Grundlage für die Untersuchung ist die Stammstrecke (Mittnachtstraße bis Schwabstraße), für die im ersten Schritt Kosten ermittelt worden sind.

Darüberhinausgehend sind die Ausgangspunkte für die Untersuchung des **zentralen Betrachtungsraums** die Streckenbereiche, die sich südlich an die Stammstrecke anschließen:

1. Verlängerte Stammstrecke von der Schwabstraße über Universität bis Österfeld
2. Ausrüstungsbereich Vaihingen inklusive der Station Goldberg (und Zulauf aus Böblingen), sowie angrenzende Teile der Panorama-Bahn
3. Ausrüstungsbereich Vaihingen bis Flughafen, inklusive Filderstadt

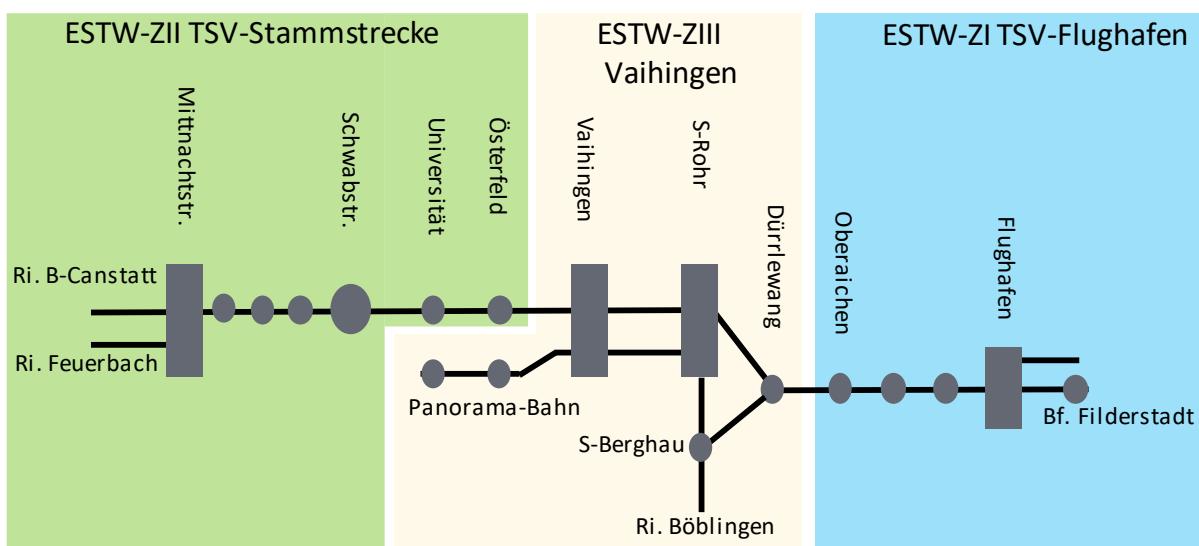


Abbildung 107: Zentraler Betrachtungsraum mit der Stammstrecke, sowie Vaihingen und Flughafen

Damit umfasst der zentrale Betrachtungsraum insgesamt den Baustein 1 mit den drei Ausrüstungsbereichen:

1. Baustein 1:
 - a. Ausrüstungsbereich 1: Stammstrecke von der Mittnachtstraße über die Station Universität bis zur Station Österfeld
 - b. Ausrüstungsbereich 2: Vaihingen inklusive der Station Goldberg (und Zulauf aus Böblingen), sowie angrenzende Teile der Panorama-Bahn
 - c. Ausrüstungsbereich 3: Vaihingen bis Flughafen, inklusive Filderstadt

Außerdem werden für den **erweiterten Untersuchungsbereich**, die sich nord-östlich an die Stammstrecke bzw. östlich an den Streckenabschnitt Flughafen anschließen Kosten abgeschätzt. Dabei handelt es sich um die weiteren Bereiche:

2. Ausrüstungsbereich 4: Bad Cannstatt
3. Ausrüstungsbereich 5: Zuffenhausen
4. Ausrüstungsbereich 6: Neuhausen

5.3.2.3 Untersuchte Systemtechniken

Aufbauend auf den ersten Schritt der Kostenermittlung werden folgenden Systemtechniken grundsätzlich in der Kostenermittlung berücksichtigt:

Tabelle 96: Berücksichtigte Systemtechniken

Systemtechniken	Strecke	Fahrzeug
ESTW	<ul style="list-style-type: none"> • ESTW-Neubau mit: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Ks als Rückfallebene (Stammstrecke) ◦ Ks als Signalisierungssystem (zentraler und erweiterter Betrachtungsraum) • Stellwerkszentrale in Stuttgart 	---
ETCS+	ETCS Level 2 mit Hochleistungsblock	Fahrzeugausrüstung (Schritt 1)
ATO	ATO-Light	Fahrzeugausrüstung (Schritt 1)
GSM-R (ETCS Datenfunk)	GSM-R Datenfunk	Fahrzeugausrüstung (Schritt 1)

5.3.2.4 Prinzipielle Kostenstruktur

Entlang der beschriebenen Betrachtungsräume und der untersuchten Systemtechniken ist folgende, grundsätzliche Kostenstruktur für die Kostenermittlung zur Anwendung gekommen:

Systemtechnik	Stammstrecke	Zentraler Betrachtungsraum	Erweiterte Betrachtungsräume
Fahrzeug (ETCS/ATO)	Schritt 1	---	---
ESTW	Schritt 1	ESTW (Delta)	ESTW
ETCS+	Schritt 1	ETCS+	ETCS+
ATO		Gesamter Betrachtungsraum	
GSM-R (ETCS Datenfunk)	Schritt 1	GSM-R (ETCS Datenfunk)	GSM-R (ETCS Datenfunk)

Im Kapitel 5.3.4 wird die detaillierte Kostenstruktur dargestellt.

5.3.2.5 Kalkulationstool

Grundlage für die Kostenermittlung für ESTW und ETCS sind die jeweiligen Modulvertragskalkulations-tools der DB Netz AG. Das Kostenkalkulationstool für die ESTW-Kostenermittlung wird im Weiteren unter dem Namen xSTW geführt. Mittels dieser Kostenkalkulationstools erfolgen die Kostenkalkulationen auf Basis der ermittelten Mengengerüste der Betrachtungsräume (siehe auch Kapitel 0).

Das ESTW-Kalkulationstool plant dabei ein konkretes Umsetzungsprojekt über den Implementierungszeitraum, schätzt die Kosten in Jahresscheiben ab und summiert dies für die Gesamtsumme auf. Damit werden explizit begleitende Kosten, wie Projektführungskosten erfasst.

Beim ETCS Kalkulationstool liegt der Fokus auf der Kostenkategorie B.2.1 „ETCS Level 2 Grundausrüstung“ sowie einer prozentualen Abschätzung der Planungskosten.

Auch für die GSM-R Kostenkalkulation ist die Grundlage das relevante Modulvertragskalkulationstool.

Die oben beschriebene Methodik und die ermittelten Kostenpositionen werden in einem Kalkulationstool auf der Basis von Microsoft Excel 2016 umgesetzt bzw. zusammengeführt. Dabei handelt es sich um eine reine Gesamtwertumfangsbetrachtung (GWU).

5.3.3 Inputdaten, Prämissen und Quellen

5.3.3.1 Prämissen und Annahmen

Die Kostenermittlung des zweiten Schrittes wurde unter den folgenden generellen Prämissen und Annahmen durchgeführt. Zusätzlich bleiben die Prämissen aus der Kostenermittlung des ersten Schrittes (siehe Kapitel 5.2.2) weiterhin gültig.

Tabelle 97: Prämissen und Annahmen für die Kostenschätzung im zweiten Betrachtungsraum

Titel	Beschreibung
Reine Gesamtwertumfangsbetrachtung	<p>Die Kostenermittlung ist als eine reine Gesamtwertumfangsbetrachtung durchgeführt worden und berücksichtigt damit Betriebskosten oder Wirtschaftlichkeitsrechnung und bildet auch keine Jahresscheiben ab.</p> <p>Ausnahme sind die Teile der Kostenermittlung, die mit dem MV Kalkulationstool erstellt worden sind, da dieses Tool im Hintergrund eine komplette Projektplanung über die Jahre des angenommenen Projektzeitraums zugrunde legt.</p>
Nominalwerte	Für die Betrachtungen im Rahmen der Kostenermittlung werden Nominalwerte zugrunde legt.
Risikokosten	<p>Zu Abbildung des Risikos wird pauschal ein ca. 20 % Risikoaufschlag im zentralen Betrachtungsraum auf die Streckenkosten erhoben.</p> <p>Siehe Kapitel 5.3.4.2</p>

Titel	Beschreibung
Planungskosten	<p>Zu Abbildung der Planungskosten für ETCS wird pauschal ein ca. 30 % Aufschlag auf die ETCS Implementierungskosten erhoben.</p> <p>Die Planungskosten für ESTW und GSM-R werden in den Kalkulationen als eigen Posten mit betrachtet. Dabei werden für die ESTW Planung ungefähr 21 % und für die GSM-R Planung ungefähr 12 % angesetzt.</p>

5.3.3.2 Inputdaten, Methoden und Quellen

Die nachfolgende Tabelle 98 listet für die grundsätzlichen Kategorien der Inputdaten die jeweiligen Quellen auf.

Tabelle 98: Inputdaten, Methoden und Quellen für die Kostenermittlung

Kategorie	Inputdaten / Methoden	Quelle
Mengengerüst LST-Ausrüstung	Zentraler Betrachtungsraum, Basis Entwurfsplanung	DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH
	Erweiterter Betrachtungsraum, Basis Bestandsplanung	Expertenschätzung InGe
Mengengerüst GSM-R-Ausrüstung	Zentraler Betrachtungsraum: 1. Basis Entwurfsplanung 2. Beispielhafter Netzaufbau	1. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH 2. Expertenschätzung InGe
	Erweiterter Betrachtungsraum: 1. Auszählung der Planunterlagen, 2. Änderungsvorschläge	1. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH 2. Expertenschätzung InGe
ESTW-Kosten	Zentraler Betrachtungsraum: 1. Grundkosten konventionelle Ausrüstung mit Ks-Signalisierung 2. Kosten für ESTW-Implementierung, MV-Kalkulationstool xSTW 3. Definition S-Bahn-Anteil an ESTW Kosten 4. Zusatzkosten 5. Kosten für RSTW + ESTW im Null-Fall-Szenario	1. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH 2. DB Netz AG, I.NPS 422 3. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH 4. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH 5. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH

Kategorie	Inputdaten / Methoden	Quelle
	<p>Erweiterter Betrachtungsraum Bad Cannstatt und Zuffenhausen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kosten für ESTW-Implementierung, MV-Kalkulationstool xSTW 2. Definition S-Bahn-Anteil an ESTW-Kosten 	<p>1. DB Netz AG, I.NPS 422</p> <p>2. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH</p>
	<p>Erweiterter Betrachtungsraum Neuhausen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kostenbearbeitung (GVFG) 	<p>1. Drees & Sommer Infra Consult und Entwicklungsmanagement GmbH</p>
ETCS-Kosten	<p>Alle Betrachtungsräume</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kosten für ETCS-Implementierung, MV-Kalkulationstool ETCS 2. Anschwenkkosten / Vorbereitung Testbetrieb (zentraler Betrachtungsraum) 3. Kosten für Planprüfung 	<p>1. DB Netz AG, I.NXS</p> <p>2. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH</p> <p>3. DB Engineering & Consulting GmbH</p>
GSM-R-Kosten	<p>Alle Betrachtungsräume (außer Neuhausen), Kosten für GSM-R-Implementierung</p>	<p>DB Netz, Kalkulationstool GSM-R</p> <p>Expertenschätzung InGe</p>
	<p>Erweiterter Betrachtungsraum Neuhausen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kostenbearbeitung (GVFG) 	<p>Drees & Sommer Infra Consult und Entwicklungsmanagement GmbH</p>
ATO-Light-Kosten	<p>Alle Untersuchungsbereiche, Kosten für ATO Strecken Entwicklung und Implementierung</p>	<p>Expertenschätzung InGe</p>
Kosten für Geschwindigkeitserhöhung Tunnel	<p>Baukosten und Plan- & Steuerungskosten</p>	<p>DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH</p>
Kosten für Inbetriebnahme nach 2025 (angenommen 2 Jahre)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baukosten und Instandhaltung 2. Kosten Projektführung 	<p>1. DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH</p> <p>2. Expertenschätzung InGe</p>

5.3.3.3 Mengengerüste

Die nachfolgende Tabelle 99 listet für alle Betrachtungsräume die LST- und ETCS-relevanten Mengengerüste im Format für das ETCS-Modulvertragskalkulationstool auf.

Tabelle 99: Mengengerüste aller Betrachtungsräume (Format ETCS-Kalkulationstool)

ETCS-Level-2-Grundausrüstung		Zentraler Betrach-tungsraum	Bad Cannstatt	Zuffenhausen	Neuhausen
Basismodule	Basismodul ETCS L2 [km]	53,2	15	30	7,5
	ETCS L2, eingleisig [km]	0	1	0	2
Regelbetrieb ETCS	Levelwechsel	8	16	22	0
	Selbststossanstoß	94	24	40	13
	Teilblockmodus und Dunkelschaltung	90	14	30	13
	Vermeidung Signalisierungswiderspruch	47	8	20	13
	Richtungsanzeiger	13	4	9	0
	Kennlicht	21	3	5	0
Streckenbezogene Kosten	Sicherung von Bahnübergängen	0	0	0	0
	Bereiche mit Metallmassen am Fahrweg	5	8	5	0
	Trusted Area	47	12	20	8
Signale	Signale mit normaler Ortungsgenauigkeit	47	7	8	4
	Signale mit hoher Ortungsgenauigkeit	47	17	32	9
	Hauptsignale Ne 14-Nachrüstung	94	24	40	0
	ETCS-Blockkennzeichen	130	24	85	0
	Lichtsperrsignale, an denen Züge beginnen / enden	10	0	0	0
	Stellort HOA/FBOA auf Strecken mit PZB, v <= 160 km/h	2	1	0	0
Weichen	Weichen	73	27	50	3
Schnittstellen	SCI-RBC (ESTW-Z)	1	1	1	1

ETCS-Level-2-Grundausrüstung		Zentraler Betrachtungsraum	Bad Cannstatt	Zuffenhausen	Neuhausen
	Schnittstelle N-RBC, Subset 98	1	2	2	1
RBC-Anbindung	Anbindung RBC an vorbereitete BZ für integrierte Bedienung	0	1	1	1
	Anbindung RBC an vorbereitete UZ für integrierte Bedienung	1	1	1	1
Tests	Testfahrzeug nach IBN der Strecke	1	1	1	1
	Erstellen der betrieblichen Testfallspezifikation	1	1	1	1
Projektspezifische Zusatzleistungen	Verwendung SRS Version 3.4.0	1	1	1	1
	Bereitstellung Generischer Testfallkatalog ETCS	1	1	1	0
	Erstellung des Sicherheitserprobungsberichtes	1	1	1	0
BZ-/ UZ-Integration	Vorbereitung der BZ für integrierte Bedienplätze	2	1	2	0
	Vorbereitung der UZ für integrierte Bedienplätze	1	1	2	0
	Anbindung RBC an UZ/ESTW-Z (SCI und funktional)	2	1	1	0
	Anpassung ESTW-A für Level 2	1	0	0	0

Für die erweiterten Betrachtungsräume Bad Cannstatt, Zuffenhausen und Neuhausen muss wiederholt festgehalten werden, dass die Grundlagen der Mengengerüste die Bestandsplanungen sind, die im Rahmen einer weiterführenden Entwurfsplanung verifiziert und ggf. präzisiert werden müssen

5.3.4 Detaillierte Kostenstruktur

Entlang der Systemtechniken und der damit verbundenen Quellen und Methoden der Kostenerhebung (siehe auch Tabelle 98) wird im Weiteren die Kostenstruktur weitere detailliert.

5.3.4.1 Delta zur Kostenermittlung der Stammstrecke

Im Gegensatz zum Ergebnis der Kostenermittlung zur Stammstrecke aus dem ersten Schritt, der die Gesamtkosten in Höhe von 136,18 Mio. € ermittelt hat, werden jetzt Gesamtkosten für die Stammstrecke in Höhe von 136,38 Mio. € als Basis angenommen.

Grund für die höheren Gesamtkosten von 0,20 Mio. € ist die zusätzliche Berücksichtigung der Kosten für die GSM-R Voice Ausrüstung der Streckenseite, aus dem Null-Fall-Szenario „Ks ohne ETCS.“

5.3.4.2 Zentraler Betrachtungsraum

In den Kosten für den zentralen Betrachtungsraum werden grundsätzlich folgende Kostenkategorien berücksichtigt:

1. ESTW Kosten
2. ETCS Kosten
3. GSM-R Kosten
4. ATO-Light Kosten
5. Pauschale Risikokosten
6. Kosten für Geschwindigkeitserhöhung Tunnel
7. Kosten für IBN nach 2025 (2 Jahre)

Innerhalb dieser Kostenkategorien werden folgenden Kostenarten berücksichtigt:

Tabelle 100: Detaillierte Kostenstruktur des zentralen Betrachtungsraums

Kostenkategorien	Kostenarten
ESTW-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. xSTW-Kostenkalkulation <ol style="list-style-type: none"> a. Anteilig berücksichtigt für Vaihingen (80%), Stammstrecke-Österfeld (80%), Flughafen (50%), Böblingen (80%) <ul style="list-style-type: none"> • Die Prozentzahlen grenzen für den jeweiligen Stellbereich den S-Bahn-Anteil gegen den Fern-Bahn-Anteil ab b. Plankosten, Baukosten (LST, TK), Projektaufwand c. Die detaillierten Kostenarten sind in Tabelle 101 aufgeführt 2. Zusatzkostenpauschale (STW TSV) <ol style="list-style-type: none"> a. Versetzung Streckentrennung PFA 1.3b b. Abbau Signale Außenanlage PFA 1.3b c. Technische Klärung/Umsetzung alleinstehendes Zs 3 d. Technische Klärung/Umsetzung Handweiche mit Schlüsselsperre e. Baugleiserstellung bei Anpassung Baulogistikkonzept/Elektrifizierung Baugleis für Teststrecken 3. Weiterführende Anpassungs- und Ausrüstungskosten <ol style="list-style-type: none"> a. Ausrüstung Betriebssteuerzentrale (anteilig) b. Anpassungen an Stromversorgung (inkl. Streckentrennungen/ Zuleitungen etc.), Kabeltiefbau, Rückbau etc. c. Bauzustände, temporäre Bedienung, Anpassung der Zulaufstrecken (Zufahrtsicherung) 4. MINUS Von den obenstehenden Kosten werden die Kosten für RSTW + ESTW aus dem Null-Fall Szenario abgezogen

Kostenkategorien	Kostenarten
ETCS-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abschätzung mittels MV-ETCS-Kalkulationstool, siehe auch Kapitel 5.3.4.2.2), inklusive der Kostenarten <ol style="list-style-type: none"> a. Projektmanagement b. Planung- / Projektierung, pauschal berücksichtigt mit 30% c. Training d. Anpassung Regelwerk, Betrieb und / oder Planungsrichtlinie e. Abnahme / Zulassung 2. Anschwenkkosten / Vorbereitung Testbetrieb 3. Prüfkosten für Planprüfung und Abnahmeprüfung
GSM-R-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projektierung/Lieferung/Montage/IBN (Primär und Redundanz) 2. Antenne/Schlitzkabel 3. Planungskosten DB 4. Zulassung/Prüfung/Abnahme
ATO-Light-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projektführung 2. Entwicklung 3. Projektierung 4. Implementierung 5. Funk (WLAN+4G)
Pauschale Risikokosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ca. 20% Risikokosten auf <ol style="list-style-type: none"> a. Kosten der Stammstrecke MINUS Fahrzeugkosten b. Erweiterter Betrachtungsraum ETCS+ zzgl. STW TSV c. Streckeneinrichtung + Funk ATO-Light
Kosten für Geschwindigkeitserhöhung Tunnel	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tausch aller Türen der Technikräume 2. Einbau von Fang- und Führungsschienen 3. Anpassentwicklung Streckentrenner (verursacht vorübergehend erhöhten Instandhaltungsaufwand) 4. Test- und Versuchsfahrten (OLA, Aerodynamik) 5. Baukosten 6. Plan- & Steuerungskosten
Kosten für IBN nach 2025 (2 Jahre)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einmalige Kosten <ol style="list-style-type: none"> a. Umbauten/Anpassungen (einschließlich Verlegung der Kabeltrassen, Regreßforderungen etc.) 2. Jährliche Kosten, berücksichtigt für 2 Jahre

Kostenkategorien	Kostenarten
	<ul style="list-style-type: none"> a. Kosten Instandhaltung (Mittel für Einzelfehlerbeseitigung und präventive Instandhaltung) b. Vorhaltung von Betriebs- und Instandhaltungspersonal c. Kosten Projektführung der Implementierungsprojekte

5.3.4.2.1 ESTW Kosten

Tabelle 101 zeigt die in Tabelle 100 detaillierten Kostenarten, die im Kalkulationstool xSTW für ESTW berücksichtigt werden:

Tabelle 101: Aufschlüsselung der Kostenarten, die im Kalkulationstool xSTW berücksichtigt werden

Abk.	xSTW Kostenarten	Kostenarten ID
GWU	Projektabschnitt Projektdefinition	12000
PLAKO	Planungskosten	12000
PLAKO	davon Aufwandsanteil Planungskosten	12000
BAUKO	Baukosten Summe	Projekt
BAUKO	ELEKT. SIGNALANLAGEN [EIU]	12000
BAUKO	TK2-ANLAGEN KABEL- UND ÜBERTRAGUNGSTECHNIK [EIU]	13000
BAUKO	TK1-ANLAGEN ENDGERÄTE [EIU]	13001
BAUKO	TK2-ANLAGEN ÜBERTRAGUNGSTECHNIK [EIU]	13005
PRÜF	Projektaufwand Baukosten gesamt	in Bauko
PRÜF	Sicherungsleistung und Baustelleneinrichtung - Baukosten -	in Bauko
PLAKO	Planungskosten gesamt	
PLAKO	davon Aufwandsanteil Planungskosten	
PLAKO	Planungskosten Anteil Fachplanung	35%
PLAKO	Planungskosten Anteil Projektmanagement	37%
PLAKO	Planungskosten Anteil Bauüberwachung	28%
PLAKO	PM - Planungskosten Anteil Bauherr	3%
PLAKO	PM - Planungskosten Anteil Gebühren	6%
PLAKO	PM - Planungskosten Anteil Projektmanagement kaufmännisch	7%
PLAKO	PM - Planungskosten Anteil Projektmanagement technisch	27%

Abk.	xSTW Kostenarten	Kostenarten ID
PLAKO	PM - Planungskosten Fachplanung inkl. Plan- und Abnahmeprüfung	32%
PLAKO	PM - Planungskosten Anteil Bauüberwachung	25%

5.3.4.2.2 ETCS Kosten

Für die ETCS-Implementierung wurden für jeden Betrachtungsraum zwei Kostenzahlen, kalkuliert mit dem MV-ETCS-Kalkulationstool zur Verfügung gestellt. Bei diesen beiden Kostenzahlen handelt es sich um 1) Kalkulation auf Basis „Best Price“ nach Modulvertrag und 2) Kalkulation auf Basis „Durchschnittlicher Höchstpreis“ nach Modulvertrag.

Für die Kostenermittlung wurden der Durchschnitt je Ausrüstungsbereich errechnet und im Weiteren angewendet.

5.3.4.3 Erweiterte Untersuchungsbereiche Bad Cannstatt, Zuffenhausen

In den Kosten für die erweiterten Untersuchungsbereiche Bad Cannstatt und Zuffenhausen werden grundsätzlich folgende Kostenkategorien berücksichtigt:

1. ESTW-Kosten
2. ETCS-Kosten
3. GSM-R-Kosten

Innerhalb dieser Kostenkategorien werden folgenden Kostenarten berücksichtigt.

Tabelle 102: Detaillierte Kostenstruktur der Ausrüstungsbereiche 4 (Bad Cannstatt) und 5 (Zuffenhausen)

Kostenkategorien	Kostenarten
ESTW-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. xSTW-Kostenkalkulation <ol style="list-style-type: none"> a. Anteilig berücksichtigt für Bad Cannstatt (100%), Zuffenhausen (100%) <ul style="list-style-type: none"> • Die Prozentzahlen grenzen für den jeweiligen Stellbereich den S-Bahn-Anteil gegen den Fernbahn-Anteil ab b. Plankosten, Baukosten (LST, TK), Projektaufwand c. Die detaillierten Kostenarten sind in Tabelle 100 aufgeführt
ETCS-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abschätzung mittels MV-ETCS-Kalkulationstool, siehe auch Kapitel 5.3.4.2.2), inklusive der Kostenarten <ol style="list-style-type: none"> a. Projektmanagement b. Planung- / Projektierung, pauschal berücksichtigt mit 30% c. Training d. Anpassung Regelwerk, Betrieb und / oder Planungsrichtlinie e. Abnahme / Zulassung

Kostenkategorien	Kostenarten
	2. Prüfkosten für Planprüfung und Abnahmeprüfung
GSM-R-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projektierung/Lieferung/Montage/IBN (Primär und Redundanz) 2. Antenne/Schlitzkabel 3. Planungskosten DB 4. Zulassung/Prüfung/Abnahme

5.3.4.3.1 GSM-R Kosten Bad Cannstatt

Die Kosten für die GSM-R-(ETCS-Datenfunk)-Ausrüstung im Ausrüstungsbereich 4 Bad Cannstatt sind bereits ersten Betrachtungsraum der Stammstrecke enthalten.

5.3.4.4 Erweiterter Betrachtungsraum Neuhausen

In den Kosten für den Ausrüstungsbereich 6 Neuhausen werden grundsätzlich folgende Kostenkategorien berücksichtigt:

1. ESTW Kosten
2. ETCS Kosten
3. GSM-R Kosten

Innerhalb dieser Kostenkategorien werden folgenden Kostenarten berücksichtigt:

Tabelle 103: Detaillierte Kostenstruktur des erweiterten Betrachtungsraumes Neuhausen

Kostenkategorien	Kostenarten
ESTW-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Basierend auf einer Kostenbearbeitung (GVFG) durch die Drees & Sommer Infra Consult und Entwicklungsmanagement GmbH, unter Berücksichtigung folgender Kostenarten: <ol style="list-style-type: none"> a. ESTW-A Filderstadt <ul style="list-style-type: none"> • 1.1 Modulvertrag • 1.2 Rückbau Altanlagen • 1.3 Fundamente • 1.4 Sonderkonstruktionen • 1.5 Kabelkosten • 1.6 Kabelverlegekosten • 1.7 Verwaltungskosten DB AG b. ESTW Neuhausen <ul style="list-style-type: none"> • 2.1 Modulvertrag • 2.2 Fundamente • 2.3 Sonderkonstruktionen

Kostenkategorien	Kostenarten
	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4 Kabelkosten • 2.5 Kabelverlegekosten c. ESTW Vaihingen d. Baustelleneinrichtung e. Sicherungsmaßnahmen <p>2. Ausgehend von einem Grundpreis (netto) wurden außerdem Nachträge (pauschal 10%) und Preissteigerungen (23,5% von der Preisbasis 2016 bis 2023) berücksichtigt</p>
ETCS-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abschätzung auf der Basis der Kosten aus dem MV-ETCS-Kalkulationstool für den zentralen Betrachtungsraum sowie die Ausrüstungsbereiche 4 (Bad Cannstatt) und 5 (Zuffenhausen), siehe auch Kapitel 5.3.4.4.1), inklusive der Kostenarten <ol style="list-style-type: none"> a. Projektmanagement b. Planung- / Projektierung, pauschal berücksichtigt mit 30% c. Training d. Anpassung Regelwerk, Betrieb und / oder Planungsrichtlinie e. Abnahme / Zulassung 2. Prüfkosten für Planprüfung und Abnahmeprüfung
GSM-R-Kosten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Basierend auf einer Kostenbearbeitung (GVFG) durch die Drees & Sommer Infra Consult und Entwicklungsmanagement GmbH, wobei nur eine Kostenart „GSM-R-Basisstation“ berücksichtigt worden ist. Die angenommenen Preissteigerungen wurden in den sonstigen Kalkulationen nicht berücksichtigt. 2. Ausgehend von einem Grundpreis (netto) wurden außerdem Nachträge (pauschal 10%) und Preissteigerungen (23,5% von der Preisbasis 2016 bis 2023) berücksichtigt. 3. Weiterführend ist bei der Erweiterung der S-Bahn bis Neuhausen davon auszugehen, dass ein neuer Funkstandort für GSM-R aufgebaut und der bisherige Endstandort umgebaut werden muss. Da dies nicht in der initialen Kostenbearbeitung (GVFG) berücksichtigt ist, werden Kosten von 1,5 Standortneubauten berücksichtigt.

5.3.4.4.1 ETCS-Kosten

Aus den Streckenlängen und den Kosten aus dem MV-ETCS-Kalkulationstool für den zentralen Betrachtungsraum sowie die Ausrüstungsbereiche 4 (Bad Cannstatt) und 5 (Zuffenhausen) wurden jeweils Kilometer-Kosten-Koeffizienten abgeleitet.

Mittels Polynominterpolation mit der höchsten Potenz „2“ wurde eine Interpolationspolynom für die Berechnung der ETCS Kosten für den Ausrüstungsbereich 6 (Neuhausen) bestimmt.

Den so ermittelten ETCS-Kosten wurden die Prüfkosten für die Planprüfung und Abnahmeprüfung hinzugerechnet.

6 Marktanalysebetrachtungen und Erfahrungen anderer Bahnen

Dieses Kapitel entspricht den Arbeitspaketen 2 „Technisches Zielbild“ und 4 „Produktentwicklung“ aus der Leistungsbeschreibung.

6.1 **Marktanalyse Produkte**

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA1 des Arbeitspaketes AP4 aus der Leistungsbeschreibung.

6.1.1 **Ziel der Marktanalyse**

Die Marktanalyse im Rahmen der Machbarkeitsstudie konzentriert sich streckenseitig auf die Systeme und Systemlieferanten, die im aktuellen Projekt die gegebenen Randbedingungen, wie

- Lieferung von Stellwerkstechnik sowie ETCS-Streckeneinrichtung nach bestehenden Modulverträgen der DB AG und
- bei der DB Netz zugelassene Stellwerkstechnik

erfüllen. Diese sind:

- Bombardier
- Siemens und
- Thales.

Die Firmen Alstom und Scheidt & Bachmann haben nur einen Modulvertrag für ETCS- bzw. nur für ESTW-Systeme und werden aus diesem Grund für das Projekt nicht betrachtet.

Fahrzeugseitig werden die Lieferanten betrachtet, die im Rahmen der parallel durchgeföhrten Markterkundung von DB Regio eine Preisindikation abgegeben haben. Diese sind

- Alstom
- Bombardier
- CAF
- Siemens
- Thales

Für beide Marktsegmente werden die Produkte der Lieferanten nach dem Reifegrad in Bezug auf das Szenario ETCS+ bewertet. Der Reifegrad leitet sich aus der Einschätzung folgender Punkte ab:

- Referenzen für ähnliche Anwendungen
- Aktuelle Referenzen, die der geforderten Systemkonfiguration ähnlich sind
- Vorhandensein von, für den Einsatz bei der DB Netz, zugelassenen Produkten
- Informationen aus Befragungen der Lieferanten, DB Netz

6.1.2 Generelle Markteinschätzung

ETCS hat sich in vielen Teilen der Welt als neuer Systemstandard für die Zugbeeinflussung im Bereich Fern- und Regionalbahnen etabliert. Dabei werden die europäischen Spezifikationen als Basis für die Ausschreibungen genutzt. Die nationalen Gegebenheiten, wie die vorhandenen Stellwerkssysteme, spezifische betriebliche Verfahren und Regelwerke führen in jedem Land zu einer spezifischen, nationalen Ausprägung von ETCS. In Europa wird die Interoperabilität für einen grenzüberschreitenden Verkehr durch die TSI sichergestellt. In anderen Ländern oder Anwendungen spielt dieser Gesichtspunkt eine eher untergeordnete Rolle.

Alle bekannten Systemlieferanten wie:

- Alstom,
- Bombardier,
- CAF (Spanien),
- Hitachi/Ansaldo,
- Siemens und
- Thales

haben ETCS-Komponenten in ihrem Produktpotfolio. Jeder bietet nahezu jede Systemkomponente nach europäischen Spezifikationen an, dennoch ist die Vergleichbarkeit schwer zu beurteilen, da Informationen über die konkrete Implementierung in den einzelnen Ländern und Projekten unzureichend sind.

Die Marktführerschaft in einem Land oder einer Region haben in der Regel die Lieferanten, die die o.g. nationalen Gegebenheiten gut kennen und erfüllen (z. B. durch eigene in Betrieb befindliche Stellwerke). Dennoch hat ETCS mit seinen Standardisierungsansätzen das Potenzial, die Märkte zu verändern. Ein Beispiel dafür ist der skandinavische Markt, in dem sich der bisherige Marktführer Bombardier bei den ETCS-Programmen in Dänemark und Norwegen nicht gegen die Wettbewerber durchsetzen konnte.

Dabei ist es im Marktsegment der Fahrzeugeinrichtungen einfacher einen Wettbewerb zu initiieren, da hier die nationalen Ergänzungen der europäischen Spezifikationen gering ausfallen. Die Herausforderung für alle Lieferanten ist, bei Bestandsfahrzeugen die ETCS-OBU in Leittechnik des Fahrzeuges (was i.d.R. von einem Dritten geliefert wurde) zu integrieren.

Im Marktsegment der Streckeneinrichtung besteht eine große Wechselwirkung zwischen den Systemkomponenten Stellwerk und RBC. Hier entsteht wirklicher Wettbewerb mit noch nicht oder nur in geringem Maße im Land vertretenen Lieferanten nur, wenn die Wettbewerber beide Systemkomponenten als Paket anbieten können und das Auftragsvolumen hinreichend groß ist, um die Entwicklungsaufwendungen für den Markteintritt abzudecken (siehe Dänemark und Norwegen).

Aus Sicht der Anwender, i.d.R. EIU und EVU, und der Lieferanten stellt sich der Markt bzw. ein Marktsegment u.a. auch nach Aspekten dar, wie

- Anforderungen aus betrieblicher Sicht
- Geforderte streckenseitige Funktionalitäten ESTW/ETCS (siehe oben)
- Vorhandensein von Präqualifikationen, Zulassungen und Rahmen-/Modulverträgen
- Kritikalität der Anwendung
- Prämissen für die zeitliche Projektumsetzung.

Wenn die genannten Aspekte berücksichtigt werden müssen, wie bei ETCS-Einführung auf der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart, schränkt sich der Kreis der in Betracht kommenden Lieferanten für die Streckeneinrichtung ein. Dieser Umstand spiegelt sich in der Zielsetzung für das AP4 „Produktentwicklung“ im Rahmen der Machbarkeitsstudie wider.

6.1.3 Fazit und Erkenntnisse

6.1.3.1 Markt-/ Projektanforderungen

Die ETCS-Einführung auf der S-Bahn-Stammstrecke Stuttgart muss in Bezug auf Markt- bzw. Beschaffungssicht unter folgenden Aspekten betrachtet werden:

- Anforderungen aus betrieblicher Sicht
 - o Für einen S-Bahn-Betrieb mit seinen dichten Zugfolgen gibt es bei DB Netz zurzeit keine vergleichbare ETCS-Anwendung. Auch international existieren nur wenige Beispiele.
- Geforderte streckenseitige Funktionalitäten ESTW/ETCS
 - o In den Szenarien sind gegenüber den derzeitigen in Zulassung befindlichen ETCS-Lastenheften/DB-Spezifikationen zusätzliche Anforderungen identifiziert worden.
- Vorhandensein von Präqualifikationen, Zulassungen und Rahmen-/Modulverträgen
 - o Die Ausschreibung für die streckenseitigen Systemkomponenten erfolgt nach bestehenden bzw. zurzeit in Fortschreibungs-Vorbereitung befindlichen Modulverträgen (jeweils für ESTW und ETCS, Rahmenverträgen für GSM-R).
- Kritikalität der Anwendung
 - o Die Stammstrecke der S-Bahn ist die Hauptschlagader des ÖPNV in Stuttgart. Das Testen und die Einführung von ETCS darf zu keinem Einbruch der Systemverfügbarkeit führen.
- Prämissen für die zeitliche Projektumsetzung

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte müssen die Systemkomponenten, die bei der ETCS-Einführung für die S-Bahn beschafft und eingesetzt werden, einen möglichst hohen Reifegrad in Bezug auf die geforderten Anforderungen (siehe Tabelle 104) besitzen.

Tabelle 104: Geforderte Spezifikation je Systemkomponente für das Szenario ETCS+ und Fz-Ausrüstung mit ATO-OBUs

Systemkomponente	Geforderter Stand der Spezifikation
ESTW	<p>Zusätzlich zu vorhanden ESTW-Spezifikationen sind relevante Lastenhefte (LH) für die ETCS-Umsetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teilheft F8 inkl. Zusatz 1 – Hochleistungsblock ETCS L2 - vom 28.03.2017 in der Version 1.1 • für die ETCS-Bedienoberfläche: LH 415.9802 ETCS-BO Version Baseline 2.0 • Zusätzliche Anpassungen aus der Erweiterung der SCI-RBC-Schnittstelle
RBC	<ul style="list-style-type: none"> • BTSF v2.1 inklusive der mitgeltenden CRs basiert auf Baseline 3, SRS 3.4.0

Systemkomponente	Geforderter Stand der Spezifikation
	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlich der funktional spezifizierten Anforderungen (siehe Kapitel 2.1.2 ff) • Zusätzliche Anpassungen aus der Erweiterung der SCI-RBC-Schnittstelle
SCI-RBC Schnittstelle	<ul style="list-style-type: none"> • Lastenheft SCI-RBC Baseline 3, Version 0.20 vom 28.09.2015 • Zusätzlich Berücksichtigung der CR-Vorschläge für „Beanspruchung Signal“ und „Verschlussmeldung Weiche“ → Erweiterung der SCI-RBC-Schnittstelle
Fz-OBU	<ul style="list-style-type: none"> • Baseline 3, Systemversion 2.1, SRS 3.6.0
ATO-OBU	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe Kapitel 2.4

Handlungsempfehlung: Die streckenseitigen Produkte nach SRS 3.4.0 sind derzeit in Entwicklung. Erste Aktivität zur Zulassung auf Produkteinheit sind ab 2019 zu erwarten.

Auf Grund der Kritikalität der Anwendung S-Bahn Stuttgart ist zu empfehlen, die streckenseitigen Systemkomponenten an einen Lieferanten zu vergeben, der beide Komponenten (ESTW und RBC) aus eigener Entwicklung anbietet.

Die zusätzlichen Erweiterungen/Anforderungen aus der aktuellen Studie müssen in die o.g. Spezifikationen einfließen. Deren Ausgestaltung und Zulassung muss nach Abschluss und Bestätigung der Studie mit Priorität umgesetzt werden. Diese erweiterten Spezifikationen dienen als Basis für die Ausschreibung.

6.1.3.2 Streckenseitige Systemkomponenten

Systemkomponente elektronisches Stellwerk (ESTW)

Kein Lieferant hat ein ESTW bei der DB Netz im Einsatz, welches den oben genannten Spezifikationen entspricht.

Die Firmen Siemens und Thales haben auf der VDE8 Produkte im Einsatz, die einen Reifegrad aufweisen, dass die Studie davon ausgeht, dass zum Zeitpunkt der geplanten IBN der S-Bahn Stuttgart das jeweilige ESTW zugelassen sein wird. Die Firma Siemens ist in dem Projekt NBS Wendlingen-Ulm eine vertragliche Verpflichtung zur Lieferung eines entsprechenden ESTW eingegangen, wobei die Anpassung der SCI-RBC-Schnittstelle nicht berücksichtigt wurde.

Die Firma Bombardier hat sich in den Modulverträgen verpflichtet, ein spezifikationskonformes ESTW zu liefern. Jedoch ist die Schnittstelle SCI-RBC (ESTW-RBC) bis heute nicht entwickelt und es sind erst wenige ESTW bei der DB Netz in Betrieb, so dass der Produkt-Reifegrad geringer als bei den Wettbewerbern einzuschätzen ist.

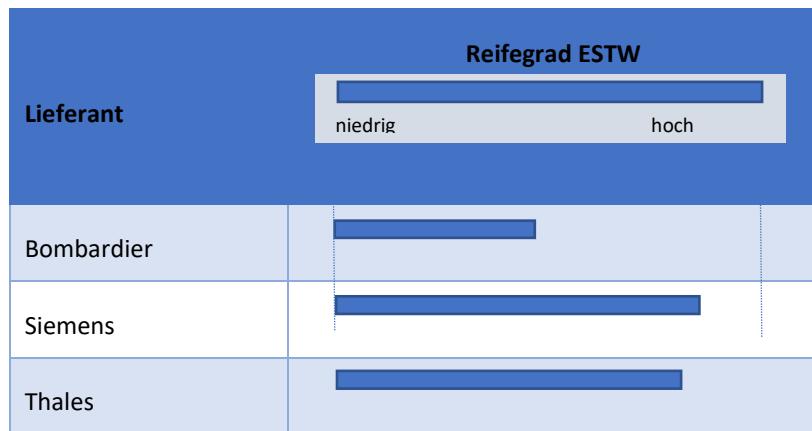


Abbildung 108: Vergleich zum Reifegrad der ESTW bei der DB Netz der verschiedenen Lieferanten

Fazit:

Auf Grund des relativ hohen Reifegrades der ESTW von Siemens und Thales ist das technische Risiko für die nicht termingerechte Zulassung der ESTW mit den für das Szenario ETCS+ notwendigen zusätzlichen Anforderungen (u.a. Anpassung der SCI-RBC-Schnittstelle) als gering einzuschätzen.

Die auf dem heutigen ESTW-System basierende Nachfolgegeneration der „Digitalen Stellwerke (DSTW)“ soll bis 2020 bei der DB Netz im Stadium von Vorserienprojekten implementiert werden. Dies geschieht auf gering belasteten Strecken. Für die Ausschreibung „S-Bahn Stuttgart“ ist das DSTW daher nicht in Betracht zu ziehen.

Handlungsempfehlung: Die notwendigen Ressourcen für die zeitgerechte Fertigstellung aller Spezifikationen und Regelwerke bereitstellen.

Systemkomponente RBC

Kein Lieferant hat ein RBC bei der DB Netz im Einsatz, welches den oben genannten Spezifikationen entspricht.

Die Firma Siemens hat auf der VDE8 ein RBC im Einsatz, welches einen Reifegrad aufweist, dass die Studie davon ausgeht, dass zum Zeitpunkt der geplanten IBN das RBC nach den o.g. Spezifikationen zugelassen sein wird. Die Firma Siemens ist bereits in dem Projekt NBS Wendlingen-Ulm eine vertragliche Verpflichtung zur Lieferung eines entsprechenden RBC eingegangen, wobei die zusätzlichen Anforderungen des Szenarios ETCS+ sowie die Anpassung der SCI-RBC-Schnittstelle dort nicht berücksichtigt sind.

Die Firma Thales hat bei der DB Netz ein RBC in ersten Anwendungsfällen, wie auf der Strecke Jüterbog-Halle-Leipzig und Nürnberg-Ingolstadt-München, nach älteren Spezifikationen getestet. Die Systeme auf beiden Strecken sind aber nicht/nicht mehr in Betrieb. Bei den ÖBB und der SBB laufen die Thales RBC seit Jahren erfolgreich im operativen Betrieb. Daher wird der Reifegrad als mittel eingeschätzt. Im DB Netz-Projekt Dreigleisigkeit Stelle-Lüneburg ist Thales eine vertragliche Verpflichtung zur Lieferung eines RBC nach o.g. Spezifikationen eingegangen, wobei die zusätzlichen Anforderungen des Szenarios ETCS+ sowie die Anpassung der SCI-RBC-Schnittstelle dort nicht berücksichtigt sind.

Die Firma Bombardier hat sich in den Modulverträgen verpflichtet, ein spezifikationskonformes RBC zu liefern. Jedoch ist bis heute keine streckenseitige ETCS-Anwendung bei der DB Netz in Betrieb, so dass der Reifegrad wesentlich geringer als bei den Wettbewerbern ist.

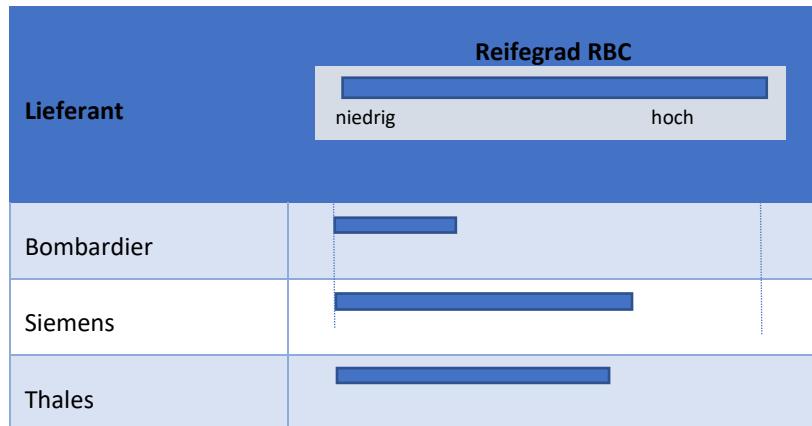


Abbildung 109: Vergleich zum Reifegrad RBC bei der DB Netz der verschiedenen Lieferanten

Fazit:

Auf Grund des Reifegrades der RBC von Siemens und Thales ist das technische Risiko für die nicht termingerechte Zulassung der RBC mit den für das Szenario ETCS+ notwendigen zusätzlichen Anforderungen (u.a. Anpassung der SCI-RBC-Schnittstelle) als mittel bis gering einzuschätzen.

Handlungsempfehlung: Die notwendigen Ressourcen für die zeitgerechte Fertigstellung aller Spezifikationen und Regelwerke bereitstellen. Dabei muss beim RBC im Vergleich zu den Anpassungen beim ESTW mit höheren Aufwendungen gerechnet werden.

Systemkomponente GSM-R

Für den ETCS L2-Datenfunk wird die vorhandene GSM-R-Infrastruktur (zurzeit für Zugfunk genutzt) umgebaut. Der ursprüngliche Lieferant Nokia führt den Umbau durch. Vor diesem Hintergrund und dem Umstand, dass GSM-R voraussichtlich ab 2025 durch ein neues System (FRMCS) schrittweise abgelöst wird, wurde auf eine Marktbeobachtung verzichtet.

Handlungsempfehlung: Für die Stammstrecke ist zu empfehlen, die im Kapitel 2.2 beschriebenen Planungsgrundsätze umzusetzen und in der Beauftragung für den Umbau der GSM-R-Infrastruktur die ETCS-Anforderung an den Datenfunk (z. B. Quality of Service) vertraglich zu regeln.

6.1.3.3 Fahrzeugseitige Systemkomponenten

In enger Abstimmung mit dem Projektteam der Machbarkeitsstudie hat DB Regio gemeinsam mit dem DB-Bereich GS.EF32 (Beschaffung Schienenfahrzeuge) eine Markterkundung gestartet. Dabei wurden neben einem groben funktionalen Anforderungskatalog auch nicht funktionale Aspekte (wie Umrüstungszeiten etc.) bei den Marktteilnehmern abgefragt. In Abstimmung mit der aktuellen Studie wurde u.a. die Systemspezifikation mit dem Stand SRS 3.6.0 als Anforderungen an die ETCS-OBUs formuliert.

ETCS L2-Fahrzeugeinrichtung (-OBU)

Die für die ETCS-OBU empfohlene Systemspezifikation SRS 3.6.0 ist zurzeit bei den Lieferanten in der Entwicklung. Verfügbare OBUs werden zurzeit mit der SRS 3.4.0 ausgeliefert. Alle Lieferanten haben bestätigt, dass sie eine Ausschreibung mit der SRS 3.6.0 im Jahr 2019 bedienen werden.

Von den Lieferanten, die an der Markterkundung von DB Regio teilgenommen haben, haben Alstom und Siemens bei der DB AG Fahrzeuge mit ETCS-OBU mit älteren SRS-Versionen ausgerüstet. Die beiden Firmen besitzen in Bezug auf die Bereiche Installation, Testen, Inbetriebnahme und Zulassung bei der DB AG einen Erfahrungsvorsprung

Die Lieferanten

- Bombardier,
- CAF und
- Thales

besitzen über hinreichende internationale Erfahrung in der Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen, so dass sie potenzielle Anbieter für die Ausrüstung der S-Bahnfahrzeuge in Stuttgart sind.

Die weiteren Schlussfolgerungen zur Markteinschätzung im Bereich ETCS-Fahrzeugausrüstung finden sich in der Markterkundung von DB Regio (Ansprechpartner: Herr Rene Neuhäuser, DB Regio S-Bahn Stuttgart).

6.1.3.4 Systemkomponente „ATO over ETCS“

Die Prinzipien von ATO mit der Ausprägung Grad of Automation 2 (GoA2) wurden in vielen Nahverkehrsanwendungen, (z. B. U-Bahnen oder People Mover-Systemen) bereits von den Lieferanten, wie

- Alstom
- Ansaldo
- Bombardier
- CAF
- Siemens
- Thales

umgesetzt.

Die weiteren Ausführungen zur Marktbeschreibung ATO sind in Kapitel 2.4.7 zu finden.

6.1.4 Methodik

Die Marktstudie zur Erfassung des Herstellerportfolios und der technischen Details zu den Komponenten der ETCS-Fahrzeug- und -Streckenausrüstung wurde mit den klassischen Tools durchgeführt. Durch Recherchen im Internet und in Dokumenten wurden Informationen gesammelt und durch eine Befragung von Lieferanten und Experten validiert oder ergänzt

6.2 Erfahrungsaustausch anderer Bahnen

Dieses Kapitel entspricht der Hauptaufgabe HA6 des Arbeitspakets AP2 aus der Leistungsbeschreibung.

6.2.1 Überblick

6.2.1.1 Ziel der Hauptaufgabe

Im Rahmen des Erfahrungsaustauschs ergeben sich für die InGe die folgenden Aufgaben:

- Sichtung und Auswertung der zur durch den AG Verfügung gestellten Unterlagen (im wesentlichen Fachartikel), Ergänzung um eigenständig beschaffte Unterlagen oder bereits vorliegende Unterlagen
- Formulierung weiterer Anforderungen und ggf. weiterer Untersuchungsgegenstände an die S-Bahn Stuttgart auf Basis der Erkenntnisse
- Erfassung und Formulierung ggf. bisher nicht erfasster Umsetzungsrisiken und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die Aufgaben werden durch Literaturrecherche und persönlichen Austausch mit Verantwortlichen vergleichbarer Projekte bearbeitet. Beide Handlungsstränge werden nachstehend dargestellt.

6.2.1.2 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass immer mehr Großstädte versuchen, die Kapazität ihres Nahverkehrssystems mit Hilfe von ETCS Level 2 zu erhöhen. Auch wenn bislang noch wenige Linien im Fahrgastbetrieb unter ETCS Level 2 verkehren, ist der Ausbau in mehreren Projekten inzwischen so weit fortgeschritten, dass die gesammelten Erfahrungen, vor allem in London, aber bspw. auch in Wuppertal, die Ausrüstung der S-Bahn Stuttgart positiv beeinflussen können.

Des Weiteren werden in den nächsten Jahren durch den steigenden Kapazitätsbedarf sowie durch die technische Ablösung der deutschen LZB weitere deutsche Städte, allen voran München und Köln, ihre Nahverkehrssysteme optimieren müssen. Stuttgart könnte somit eine Vorreiterrolle in Deutschland einnehmen und gewonnenes Wissen weitergeben.

Die ÖBB bauen ihr Streckennetz konsequent mit ETCS aus und haben dabei in der Vergangenheit wertvolle Erfahrungen auf betrieblicher und organisatorischer Ebene gesammelt, die für das Projekt Stuttgart und alle zukünftigen Projekte von großem Nutzen sein können.

6.2.2 Untersuchte Projekte

Die Nutzung von ETCS in Nahverkehrssystemen ist bislang noch wenig erprobt. Trotzdem gibt es eine Reihe von Vergleichsprojekten, die im Folgenden dargestellt werden. Auf Eignung für einen näheren Vergleich wurden folgende Projekte weltweit untersucht:

- Europa:
 - London, Großbritannien:
 - Thameslink
 - Crossrail
 - Crossrail 2
 - S-Bahn Barcelona, Spanien

- S-Bahn Madrid, Spanien
- S-Bahn München, Deutschland
- Wuppertaler Schwebebahn, Deutschland
- S-Bahn Wien, Österreich
- Danzig Flughafenbahn, Polen
- Stammstrecke Brüssel, Belgien
- Lötschberg-Basistunnel, Schweiz
- Strecke Genf – Villeneuve, Schweiz
- Strecke Mattstetten – Rothrist, Schweiz
- Dänemark (Gesamtnetz)
- Italien (Gesamtnetz und Ballungsräume)
- Niederlande (Gesamtnetz)
- Südamerika:
 - Strecke Mexico City – Toluca, Mexiko
 - Vorortverkehr Rio de Janeiro, Brasilien
- Australien:
 - S-Bahn Sydney
 - S-Bahn Melbourne
 - S-Bahn Perth
 - S-Bahn Brisbane
- Sonstige:
 - S-Bahn Ankara, Türkei
 - Israel (Gesamtnetz)
 - Ayalon Korridor, Tel Aviv

Die Vergleichbarkeit der Projekte wurde durch folgende Anforderungen sichergestellt:

- S-Bahn oder S-Bahn ähnliche Netzstruktur
- Hochbelasteter Abschnitt mit großen Kapazitätsanforderungen
- Zugsicherungssystem ETCS Level 2
- Möglichst ATO vorgesehen

Als geeignet befunden und näher untersucht wurden insgesamt acht Projekte:

- Thameslink London
- S-Bahn Barcelona
- S-Bahn Wien
- Wuppertaler Schwebebahn
- NBS Mexico City – Toluca
- S-Bahn Sydney
- Ayalon Korridor Tel Aviv

Entgegen ursprünglicher Annahmen ist die Umrüstung der Stadtquerung Madrid von ETCS Level 1 auf ETCS Level 2 bis auf weiteres verschoben, wie sich im Austausch mit ADIF herausstellte. Dieses Projekt wird daher nicht im Detail dargestellt.

6.2.3 Zusammenfassung der vergleichbaren Projekte

Die geeigneten Projekte sind in Tabelle 105 bis Tabelle 111 näher beschrieben

Tabelle 105: Projektinformationen Thameslink

	Thameslink
Netzbeschreibung	S-Bahn-artige Nord-Süd Achse durch London
Streckenlänge	4 km Stammstrecke (gesamt ca. 120 km)
Anzahl Stationen	4 (Stammstrecke)
Projektbeschreibung	Gesamterneuerung und Neuaustrüstung mit ETCS
ZSS	ETCS Level 2
ATO	GoA2
Nutzen	Ausgangszustand: 16-18 Züge/h ETCS+ATO: bis zu 30 Züge/h möglich
Status	In Testung ETCS und ATO Hochlauf im Fahrgastbetrieb ab Mitte 2018

Tabelle 106: Projektinformationen S-Bahn Barcelona

	S-Bahn Barcelona
Netzbeschreibung	Strecke des bestehenden S-Bahn-Netzes
Streckenlänge	56 km
Anzahl Stationen	15
Projektbeschreibung	Erneuerung Leit- und Sicherungstechnik
ZSS	ETCS Level 2
ATO	nicht geplant
Nutzen	Steigerung der Kapazität und Betriebsqualität

S-Bahn Barcelona	
Status	Auftrag 01/2016 vergeben

Tabelle 107: Projektinformationen S-Bahn Wien

S-Bahn-Stammstrecke Wien	
Netzbeschreibung	Hochbelasteter Abschnitt des Wiener S-Bahn-Netzes
Streckenlänge	13 km
Anzahl Stationen	11
Projektbeschreibung	Studie über den Nutzen der Einführung von ETCS L2 auf der Stammstrecke
ZSS	ETCS Level 2
ATO	nicht geplant
Nutzen	Ausgangszustand: Erhöhung der Leistungsfähigkeit ETCS: Zugfolgezeit: 2,2 Minuten, 26 Züge/h erwartet
Status	Bisher nur Studie durchgeführt, IBN bis 2030 geplant

Tabelle 108: Projektinformationen Wuppertaler Schwebewbahn

Wuppertaler Schwebewbahn	
Netzbeschreibung	Schwebewbahnlinie Wuppertal
Streckenlänge	13,3 km
Anzahl Stationen	20
Projektbeschreibung	Erneuerung der Leit- und Sicherungstechnik mit ETCS
ZSS	ETCS Level 2
ATO	nicht geplant
Nutzen	Ausgangszustand: Zugfolgezeit: 3-5 Minuten ETCS: Zugfolgezeit: 2 Minuten, Verringerung möglich

Wuppertaler Schwebebahn	
Status	Vollständige Inbetriebnahme Mitte 2018

Tabelle 109: Projektinformationen S-Bahn-Linie Mexico City - Toluca

Mexico City - Toluca	
Netzbeschreibung	Regionalverkehrsachse Mexico City - Toluca
Streckenlänge	57,7 km
Anzahl Stationen	6
Projektbeschreibung	Streckenneubau zur Verlagerung von Verkehr auf die Schiene
ZSS	ETCS Level 2
ATO	GoA2
Nutzen	Kapazität: 24 Züge/h, Zugfolgezeit: 2-5 Minuten
Status	Im Bau seit 2012 Eröffnung 2018 geplant

Tabelle 110: Projektinformationen S-Bahn Sydney

S-Bahn Sydney	
Netzbeschreibung	Ausrüstung des „Central Business Districts“ der S-Bahn Sydney
Streckenlänge	
Anzahl Stationen	
Projektbeschreibung	ETCS Ausrüstung zusätzlich zum bestehenden Signalsystem
ZSS	Gesamtnetz: ETCS Level 1 Hoch belastete Abschnitte: ETCS Level 2
ATO	in hoch belasteten Abschnitten

S-Bahn Sydney	
Nutzen	Ausgangszustand: 18 Züge/h ETCS (angestrebt): 24 Züge/h bei 45 s planmäßiger Haltezeit
Status	Baubeginn 2017 Inbetriebnahme 2022 (ETCS Level 2) bzw. 2024 (ATO) geplant

Tabelle 111: Projektinformationen Ayalon Korridor

Ayalon Korridor	
Netzbeschreibung	Hochbelasteter dreigleisiger Schienenabschnitt in Tel Aviv
Streckenlänge	6 km
Anzahl Stationen	4
Projektbeschreibung	Diverse Maßnahmen zur Steigerung der Betriebsqualität
ZSS	ETCS Level 2
ATO	nicht geplant
Nutzen	Ausgangszustand: 10 Züge/h ETCS + Blockverdichtung: 17 Züge/h
Status	Umsetzung stufenweise seit 2011

6.2.4 Persönlicher Erfahrungsaustausch

Nachstehend werden Erkenntnisse aus persönlichem Erfahrungsaustausch mit Kollegen anderer Infrastrukturunternehmen zusammengefasst. Für die Stufe 2 der Machbarkeitsstudie ist ein persönlicher Austausch mit dem Thameslink-Projekt angestrebt.

6.2.5 Erfahrungsaustausch mit Infrabell

Am 20. Oktober 2017 erfolgte ein Austausch mit Infrabell, in welchem unter anderem die Pläne zur Einführung von ATO auf der Brüsseler Stadtquerung „Jonction Nord-Midi“ diskutiert wurden. Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der gegenwärtig mit 48 Zügen/h (je Richtung auf drei Gleisen) belasteten Strecke wird angestrebt, ein ATO der Form GoA2 einzuführen. Dieses soll wahrscheinlich in Kombination mit ETCS Level 1 betrieben werden und idealerweise an das TMS gekoppelt werden. Für das Frühjahr 2018 streben SNCF und Infrabell die Ausschreibung einer Machbarkeitsstudie an.

6.2.6 Erfahrungsaustausch mit SBB

Am 25. Januar 2018 wurden Erfahrungen aus dem bisherigen ETCS-Betrieb und Bestrebungen aus dem Projekt SmartRail 4.0 mit den Kollegen der SBB Infrastruktur ausgetauscht. Auf Level-2-Strecken, welche bislang Außensignalisierung aufweisen, wird diese zurückgebaut, da sich ETCS Level 2 im Betrieb

als ausgesprochen stabil erweist. Im Gotthard-Basistunnel erfolgt eine bedingte Belegungsprüfung, welche eine Auflösung von Durchrutschwegen (Gefahrpunktabständen) auch dann ermöglicht, wenn diese physisch noch besetzt sind – der Zug aufgrund seiner Geschwindigkeit und Position aber nur mit äußerst geringer Wahrscheinlichkeit auf dem Besetzmeldungsabschnitt zum Stillstand kommt.

6.2.7 Erfahrungsaustausch mit ÖBB

Am 2. März 2018 wurden viele wertvolle Erfahrungen und Informationen aus dem ETCS-Betrieb mit der ÖBB Infrastruktur AG ausgetauscht. Aus dem fast zwanzigjährigen ETCS-Betrieb, allein die Hälfte mit ETCS Level 2, konnten die ÖBB wichtige Hinweise bzgl. der Verwendung einiger Systemkomponenten aber auch bzgl. der Projektkoordination und der Kommunikationspolitik mit Lieferanten geben.

So erscheint eine sorgfältig geplante GSM-R-Infrastruktur und Funknetzplanung sowie die Verwendung von Schlitzkabeln in Tunnelbereichen einen erheblichen Beitrag zur Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems beizutragen. Außerdem halten die Kollegen der ÖBB es für besonders wichtig, ein einheitliches ETCS-System zu implementieren, damit ein stabiler Betrieb gewährleistet wird. Derzeitig laufende Projekte basieren auf Baseline 2 (überwiegend 2.3.0d). Alle zukünftigen Projekte werden mit SRS 3.4.0 realisiert.

Die S-Bahn-Stammstrecke in Wien ist ein vergleichbar aufwändiges Projekt. Hier wurde großes Interesse am Projekt S-Bahn Stuttgart gezeigt, vor allem in den Bereichen Netzzugang, Fahrzeugausrüstung und GSM-R. Die ÖBB haben in einer Studie die Ausrüstung der Stammstrecke mit ETCS Level 2 untersucht, die zunächst mit, jedoch im Zielzustand (ca. 2022) gänzlich ohne Lichtsignale betrieben werden soll, denn alle Fahrzeuge sollen zukünftig mit ETCS ausgerüstet sein und eine Dunkelschaltung von Lichtsignalen vermieden werden. Überlegungen zur Ausrüstung mit ETCS Level 1 wurden vollständig verworfen. Die Strecke verfügt über die folgenden Merkmale:

- Mischverkehr mit Fern- Güterverkehr
- Kreuzende Verkehre
- Blockabstand 400 bis 700 m
- Bahnsteiglänge min. 160 m
- Geplante Haltezeiten bis zu 54 Sekunden, aufgrund massiver Umsteigeströme
- Mindestzugfolgezeit 2,2 min, erwartete Leistungsfähigkeit 26 Züge pro Stunde
- Release Speed 20 km/h (unabhängig vom D-Weg) im Richtungsbetrieb und in Bahnsteignähe zur zügigen Annäherung an den Bahnsteig

In den österreichischen ETCS-Projekten wurde Wert auf die Einbeziehung des gesamten ÖBB-Holding-Vorstandes (u.a. im Rahmen eines Lenkungskreises) gelegt, da man hierbei den Vorteil in der Vernetzung bis in die höchsten Führungsebenen und der damit deutlich besseren Kommunikation sah.

Ein wichtiger betrieblicher Aspekt sei laut Erfahrung der ÖBB das Thema der Lichtsignale. Da der Rückbau einmal eingebauter Lichtsignale sich schwieriger gestaltet als zunächst angenommen, sollte am besten von vornherein auf deren Verwendung verzichtet werden.

Des Weiteren hatte die ÖBB schlechte Erfahrungen mit der Kommunikation fester IBN-Termine in Richtung des Lieferanten gemacht, da dieser dann darauf drängte zugunsten der IBN auf die Implementierung mancher Funktionen zu verzichten. Im Nachgang bedeutete dies, dass diese Funktionen bis heute nicht implementiert wurden obwohl entsprechende Vertragsstrafen gezogen wurden. Die ÖBB nannte

in diesem Rahmen auch das Thema Personalfluktuation beim Lieferanten (auch durch interne Umverteilung) als mögliche Ursache und gab den Hinweis, vertraglich ein möglichst gleichbleibend besetztes Team zu fordern.

Die ÖBB sehen sich als Vorreiter in Sachen ETCS. Zum einen, weil sie bereits seit dem Jahr 2000 mit der Erprobung auf der Strecke Wien – Budapest Erfahrung in der Verwendung von ETCS sammeln konnten und bereits größere Knoten (Wörgl, St. Pölten Hbf) ausgerüstet haben und zum anderen, da sie das Ziel haben, bis 2030 alle Korridore und den Großraum Wien mit ETCS auszurüsten. Dabei ist auch die Verwendung von ETCS Level 3 denkbar, sobald dies in einer implementierbaren Reife verfügbar ist.

Die RBCs werden in Österreich in den sechs Betriebssteuerzentralen konzentriert, von denen aus auch der Zugbetrieb gelenkt wird. Die Ausfallsicherheit wird dabei durch ein Georedundanz-Konzept sichergestellt, bei dem die verbleibenden fünf Zentralen den Totalausfall einer Zentrale über vorgehaltene Reserven kompensieren. Dieses Konzept befindet sich zurzeit in Entwicklung.

7 Anhang

Im Folgenden sind die in diesem Bericht genannten Anhänge aufgeführt:

Lfd. Nr.	Titel des Anhangs	Arbeitspaket
Anhang 1	- entfällt -	
Anhang 2	MaSt Konzept Laufzeitenmessung	Laufzeiten
Anhang 3	Laufzeiten im Vergleich	Laufzeiten
Anhang 4	Systemkomponente ETCS/ATO-Fahrzeugeinrichtung	Technisches Zielbild
Anhang 5	AP4 „Produktentwicklung“ – Schwerpunkt „Kostenermittlung“	Kostenschätzung (Stammstrecke)
Anhang 6	Stufe 2 - AP4 „Produktentwicklung“ – Schwerpunkt „Kostenermittlung“	Kostenschätzung (erweiterter Beobachtungsraum & ATO)
Anhang 7	Testkonzept	Laufzeiten und Verfügbarkeit
Anhang 8	Abschlussbericht AG Fahrzeuge	Fahrzeuge
Anhang 9	Testumfang auf der Teststrecke	Fahrzeuge
Anhang 10	Geschwindigkeitserhöhung auf der Stammstrecke	Betriebsanalyse
Anhang 11	Abschlusspräsentation Untersuchung ETCS Stuttgart	