Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität

Ein auch darauf ausgerichtetes Vergabeverfahren wird im Digitalen Knoten Stuttgart zu erheblich verkürzten technischen Laufzeiten führen.

MARC BEHRENS | MIRKO CASPAR | ANDREAS DISTLER | NIKOLAUS FRIES | SASCHA HARDEL | JAN KRESSNER | KA-YAN LAU | ROLF PENSOLD

Nach durchwachsenen Erfahrungen mit den Laufzeiten der Leit- und Sicherungstechnik (LST) rückten diese frühzeitig in den Fokus der im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) verfolgten LST-Optimierung für „maximale Leistungsfähigkeit". Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem die Laufzeiten von sechs für die Leistungsfähigkeit des Gesamtprojekts repräsentativen Szenarien durch die Bieter im Zuge des Vergabeverfahrens zu benennen und zu plausibilisieren waren. Letztlich können die Laufzeiten damit erheblich verkürzt und somit merkliche Spielräume für Kapazitäts- und Qualitätsverbesserungen geschaffen werden.

Motivation

Die Zeitverbräuche einer (behinderungsfreien) Zugfahrt im Sinne der Belegungszeitentheorie bestimmen wesentlich Fahrwegkapazität und Betriebsqualität. Neben Längen der Fahrwegabschnitte beeinflusst die LST v. a. die Fahrstraßenbilde- und -auflösezeiten. Die Definition der Fahrstraßenbildezeit als *„Zeitverbrauch für das Herstellen des gesicherten Status eines Fahrwegabschnitts (Blockabschnitt, Fahrstraße) als Voraussetzung für die Erteilung der Zustimmung zum Befahren dieses Abschnitts"* [1] ist ab ETCS Level 2 nicht mehr erschöpfend: Übertragungs- und Verarbeitungszeiten der zusätzlichen Systemkomponenten lösen neue Zeitverbräuche aus und bedingen zusammen mit der Anzeigeführung geänderte Belegungszeitkomponenten (Abb. 1).

Entwicklung und Beschaffung von LST sind bisher stark sicherheitsgetrieben. Laufzeitanforderungen existieren in Lastenheften zumeist nur für Sicherheitsreaktionen, jedoch nicht für die leistungsfähigkeitsbestimmenden Abläufe des Regelbetriebs. Hier sind vielfach ungenutzte Potenziale zu vermuten.

Gewünschte Verkehrsverlagerungen auf die Schiene führen vielfach zu sehr hohen Leistungsanforderungen, die besonders in Ballungsgebieten auf begrenzte Knoteninfrastrukturen treffen. Hier muss die LST für das gewünschte Betriebsprogramm die bestmögliche Leistungsfähigkeit erreichen. Das gilt besonders für S-Bahn-Stammstrecken mit dichten gleichartigen Zugfolgen.

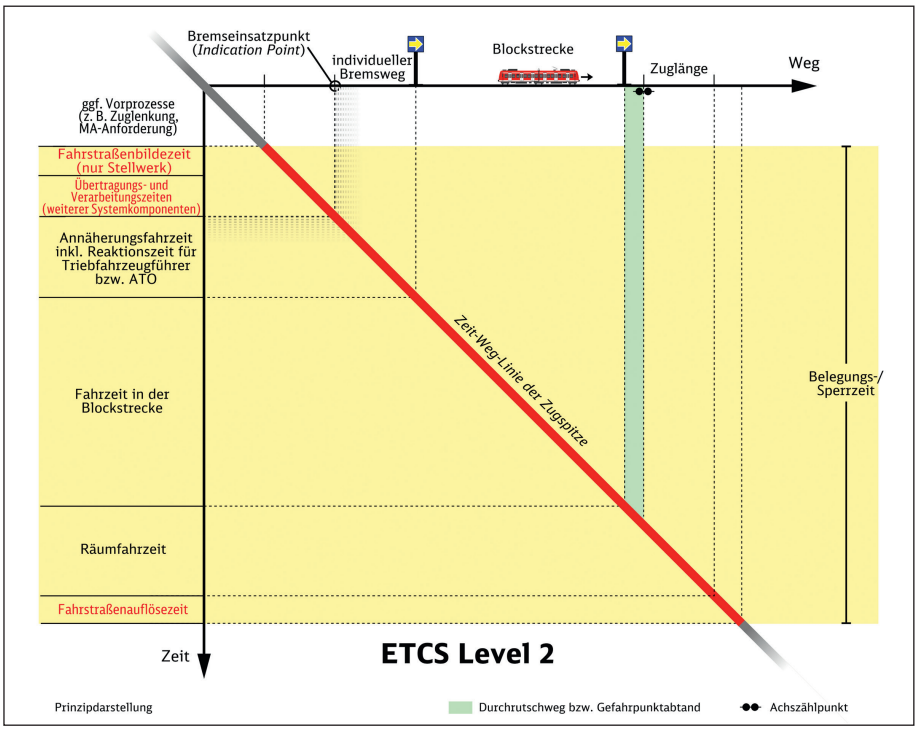

Abb. 1: Darstellung der Belegungs- / Sperrzeitkomponenten der LST mit ETCS Level 2. Der Anteil der LST-Laufzeiten ist rot beschriftet.

DLST-Architektur

Die Architektur für die zukünftige Digitale Leit- und Sicherungstechnik (DLST) wird im Rahmen des Programms Digitale Schiene Deutschland (DSD) entwickelt (Abb. 2). Sie kombiniert die Vorteile der konventionellen Elektronischen Stellwerke (ESTW) und einer zentralisierten Bedienung und umgeht deren Nachteile mit einer neuen Struktur der Datenkommunikation. Digitale Stellwerke (DSTW) kommunizieren zwischen Innen- und Außenanlagen per gesicherter und standardisierter IP-Datenkommunikation und ermöglichen damit größere Stellbereiche. Der Kern der Sicherungstechnik (DSTW und zugehörige ETCS-Zentrale) samt notwendiger Leittechnik (der integrierten Leit- und Bediensystem-Zentraleinheit, iLBS-ZE) bilden eine integrierte Unterzentrale (iUZ). Eine oder mehrere iUZ werden in einem Technikstandort (TSO) untergebracht.

Die Bedienung wird für Fahrdienstleiter flexibler und einheitlicher, indem DSTW und ETCS-Z über integrierte Bediensysteme (iBS) gesteuert werden, die als Bestandteil des integrierten Leit- und Bediensystems (iLBS) in Bedienstandorten (BSO) untergebracht sind. Soweit berechtigt und technisch realisiert, kann ein Fahrdienstleiter aus einem beliebigen BSO „seinen" Bereich steuern. Alle Systeme werden mindestens redundant oder sogar georedundant spezifiziert. Alle verbauten Systeme der DLST sind im Sinne der IT-Security gemäß einheitlicher Vorgaben spezifiziert und für die Absicherung der Übertragungssysteme mit IT-Security-Eigenschaften ausgestattet. Für die gesicherte Übertragung der IP-Datenkommunikation zwischen den sicherheitsrelevanten Systemen (insbesondere DSTW und ETCS-Z) wird das standardisierte RaSTA-Protokoll verwendet. Die Überwachung erfolgt mit Diagnosesystemen, die zukünftig in eine Diagnosezentrale für Instandhaltung und in ein Security-Operation-Center für die IT-Sicherheitsüberwachung die Meldungen übermitteln.

Die BSO / TSO sind so über die Fläche verteilt, dass sich eine gute Erreichbarkeit ergibt und auch die Anlagensteuerung sinnvoll strukturiert werden kann. Für die Steuerung des

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

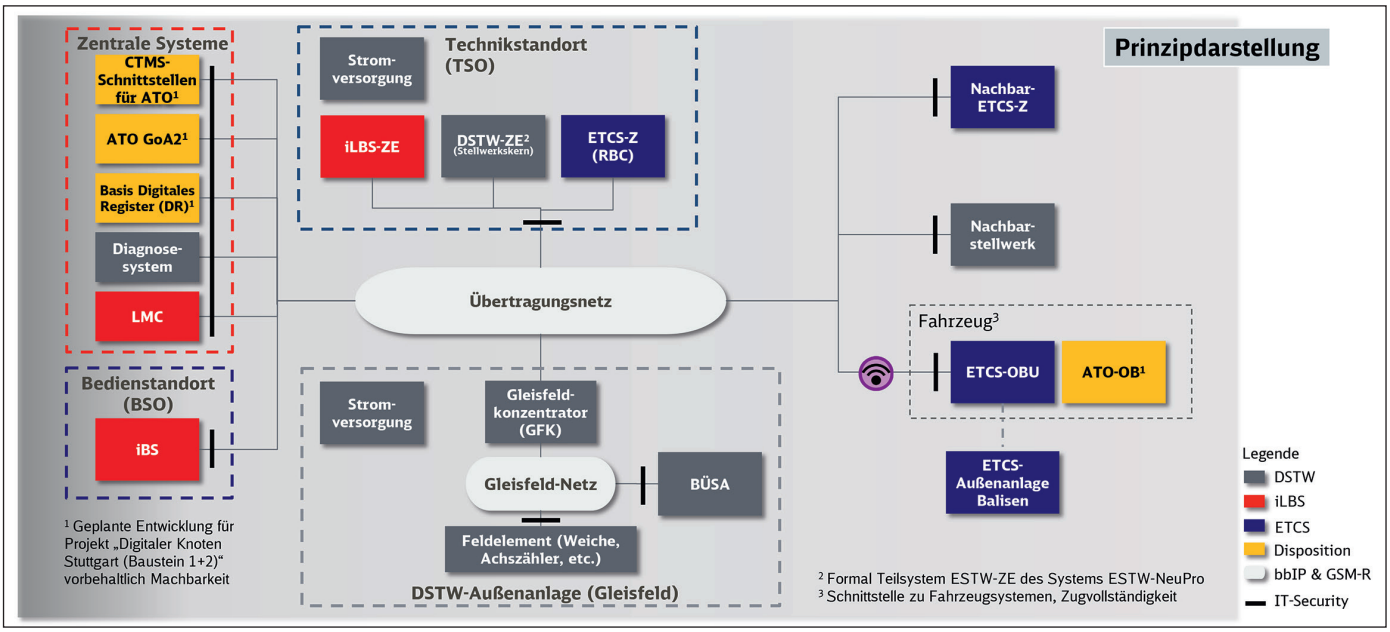

Abb. 2: Prinzipdarstellung der Systemarchitektur für das Betrieblich-Technische Zielbild 1.0, das im Rahmen der Bausteine 1 und 2 des Digitalen Knotens Stuttgart bis 2025 realisiert wird.

gesamten Schienennetzes der DB Netz sind ungefähr 50 TSO, 130 BSO und zwei LMC (LST-Management-Center) erforderlich.

Digitaler Knoten Stuttgart

Im Rahmen des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS) wird die LST in der Region Stuttgart modernisiert. Zunächst werden bis 2025 rund 125 Streckenkilometer mit DSTW und ETCS ausgerüstet. Begleitend werden rund 500 Triebzüge ausgerüstet und dabei u. a. der GSM-R-Nachfolger FRMCS vorbereitet. Bis 2030 folgt die Ausrüstung der übrigen Region. Das Projekt ist Teil des DSD-Starterpakets, in dessen Rahmen die Grundlagen für den flächenhaften Roll-out gelegt werden. [2]

Der Zündfunke des DKS lag um 2015 in ersten ernsthaften Überlegungen, die S-Bahn-Stammstrecke mit ETCS auszurüsten. Im Rahmen der S-Bahn-ETCS-Untersuchung wurden die technische Machbarkeit sowie die betriebliche Sinnhaftigkeit detailliert dargelegt [3]. Dabei wurden auch technische Laufzeiten auf Basis von Anforderungen sowie Hersteller- und Expertenbefragungen ermittelt. Mit einer Ende-zu-Ende-Laufzeit von mindestens 14 s (Tab. 1) wurde, gegenüber konventioneller LST, eine rund 20-prozentige Verkürzung der Mindestzugfolgezeiten auf 107 bzw. 120 s (je Richtung, mit Langzügen) erreicht [4]. Maßgebend sind dabei Zugfolgeabschnitte ohne Weichen. Selbst mit 30 m kurzen „Blöcken“ an S-Bahn-Bahnsteigen hätte ein nachrückender Zug erst dann die Erlaubnis zur Einfahrt in den ersten 30-m-Abschnitt (mit weiteren 30 m D-Weg) erhalten, nachdem der vorausfahrende Zug den gesamten, rund 220 m langen Bahnsteig geräumt hat. In der Ende-zu-Ende-Optimierung der Laufzeiten lag damit offensichtlich erhebliches Potenzial.

Die Infrastruktur der bis 2025 umzusetzenden DKS-Anteile wurde im Oktober 2019 ausgeschrieben und im November 2020 an Thales vergeben. Die Vergabeverfahren zur Fahrzeugausrüstung sind im Gange und werden im Laufe des Jahres abgeschlossen.

Konzeption und Durchführung des Laufzeitwettbewerbs

Bereits während der S-Bahn-ETCS-Untersuchung zeigten die verfügbaren Daten – Angaben potenzieller Lieferanten, Erkenntnisse aus dem In- und Ausland, auch von eigenen Messungen – ein sehr heterogenes Bild. Während die Datenlage im Inland zur damaligen Zeit recht überschaubar war und kaum Mindestanforderungen für die betriebliche Leistungsfähigkeit bestanden, wurden im Ausland sogar wettbewerbliche Anreize beobachtet. Es schien zur Maximierung der betrieblichen Leistungsfähigkeit im DKS daher unbedingt geboten, diese Impulse aufzunehmen und Laufzeiten sowie deren Optimierung frühzeitig auf das Radar zu nehmen.

Auf dieser Grundlage begann Anfang 2019 die Vorbereitung des Laufzeitwettbewerbs für das Vergabeverfahren. Um sowohl Engpässe wie auch Potenziale zu erkennen und konkrete Laufzeiten – mit verbindlichen, erheblich zahlungsrelevanten Abnahmekriterien – vertraglich zu fixieren, wurden sechs Szenarien entwickelt, die für die Leistungsfähigkeit im DKS maßgebende Abschnitte und Abläufe beschreiben. Eine Reihe von Fachleuten der Deutschen Bahn AG (DB) arbeitete dabei eng mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zusammen.

Einer grundlegenden Klärung bedurfte auch die zu legende Messlatte: Reine Mindestanforderungen schienen nicht sinnvoll, da:

Zeitanteil	Laufzeit ohne Weiche	Laufzeit mit einer Weiche
Fahrstraßenauflösezeit	3 s	3 s
Fahrstraßenbildezeit	6 s	12 s
Übertragung ESTW–ETCS-Zentrale (ESTW-Z/RBC)	0,5 s	0,5 s
Verarbeitung in der ETCS-Z	0,5 s	0,5 s
Übertragung der Fahrterlaubnis per GSM-R	0,8 s	0,8 s
Laufzeitverzögerung an Schnittstellen (GSM-R, SCI-RBC)	1 s	1 s
Verarbeitung und Anzeige im Fahrzeuggerät (OBU)	1,5 s	1,5 s
Summen (aufgerundet)	**14 s**	**20 s**

Tab. 1: Angenommene Laufzeiten nach der S-Bahn-ETCS-Untersuchung (progressives Szenario „ETCS+“)

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

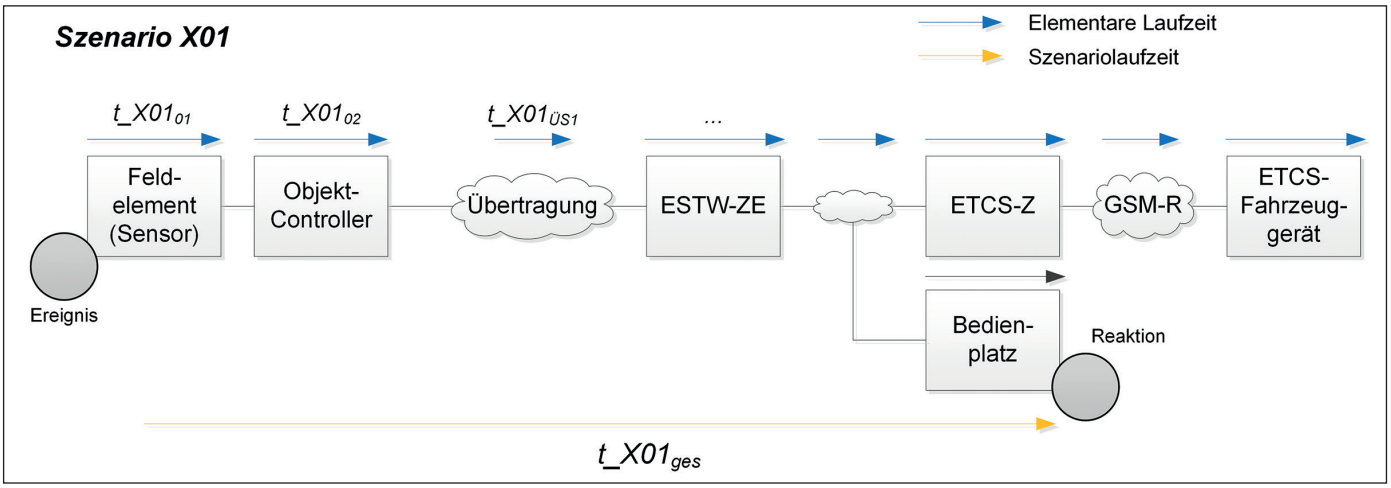

Abb. 3: Im Rahmen von Szenarien wurden für betriebliche Aktivitäten elementare Laufzeiten von Komponenten abgefragt und daraus dann die Gesamtszenariolaufzeit ermittelt.

- die von den erwarteten Marktteilnehmern tatsächlich realisierbaren Laufzeiten nicht hinreichend bekannt waren und der Wettbewerb nicht unnötig eingeschränkt werden sollte,
- eine möglichst weitgehende Verkürzung angestrebt wurde und
- auch Ideen der Bieter einfließen können sollten.

Nach eingehender Diskussion wurde letztlich festgelegt, die Laufzeiten zu einem zuschlagsrelevanten Bewertungskriterium im Vergabeverfahren zu machen und diesem 5 % der erreichbaren Gesamtpunktzahl beizumessen – 85 % entfielen auf den Preis, je 5 % auf das Inbetriebnahme- bzw. Redundanzkonzept.

Nachdem im Oktober 2019 zum Wettbewerb aufgerufen wurde, wurden im 1. Halbjahr 2020 in mehreren Verhandlungsrunden mit den Bietern auch die angebotenen Laufzeiten detailliert, durch das DLR validiert und die Szenarien punktuell nachgeschärft. Dabei konnten auch Verbesserungspotenziale einfließen, die von bisherigen Vorgaben abwichen, jedoch umsetzbar erschienen.

Szenarien

Um den Laufzeitwettbewerb in die Ausschreibung zu integrieren, waren neue Verfahren zu entwickeln. Die erste Idee, Laufzeiten lediglich für eine generische Architektur zu erheben, wurde verworfen und stattdessen die konkrete Infrastruktur (mit dem darauf geplanten Betrieb) in den Fokus genommen. Damit konnten deutlich aussagekräftigere Ergebnisse erwartet werden – beispielsweise, indem auch praxisrelevante Hochlastszenarien und deren Auswirkungen auf Verarbeitungszeiten von

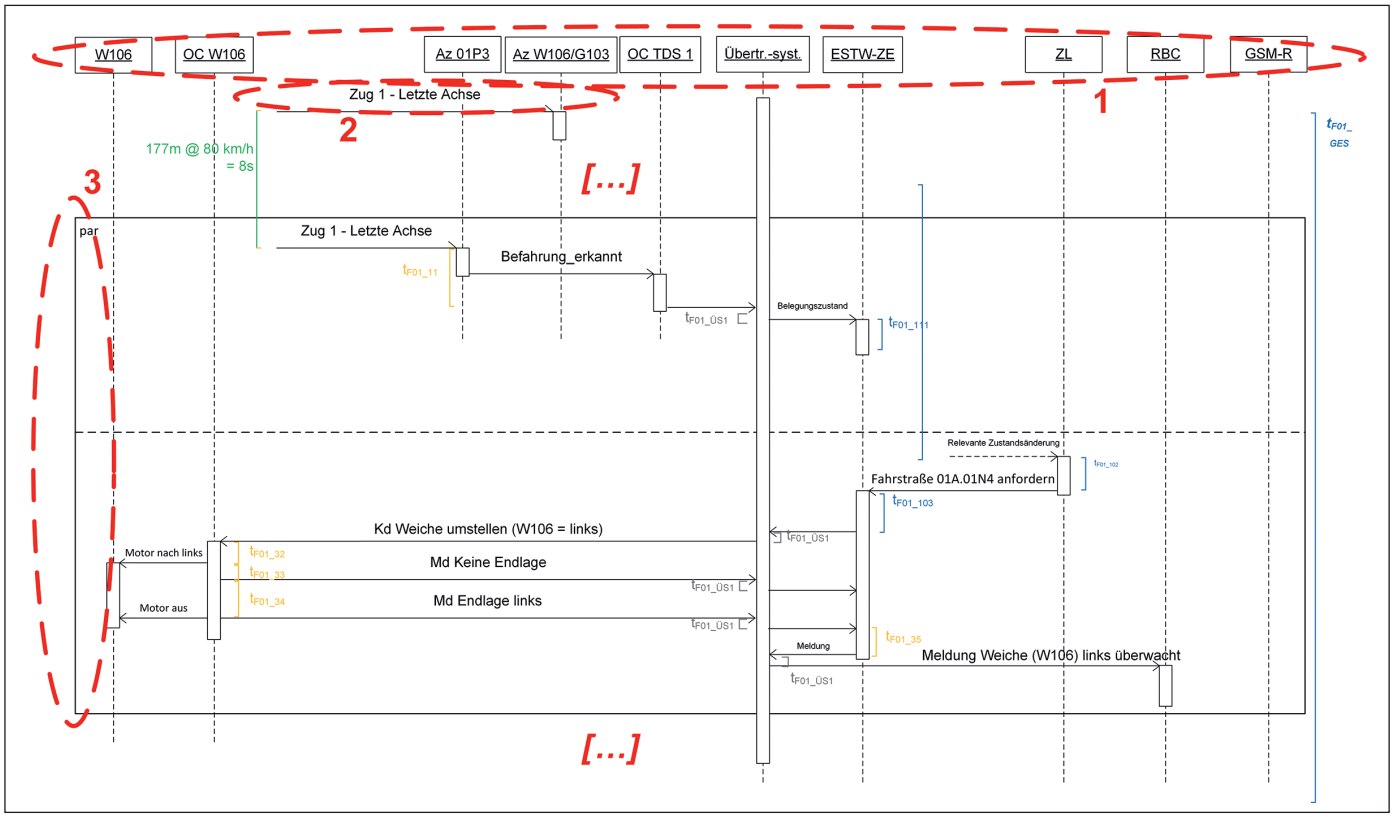

Abb. 4: Beispiel eines Szenarios in der Darstellung eines Sequenzdiagramms: Benannt werden beteiligte Verarbeitungs- / Kommunikationsinstanzen (Markierung 1) und die Nachrichten, die in Folge eines betrieblichen Startereignisses (Markierung 2) ausgetauscht werden. Auch parallele (Markierung 3) oder alternative Pfade können als Option modelliert werden. Das Szenario ist zur besseren Lesbarkeit nicht vollständig.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

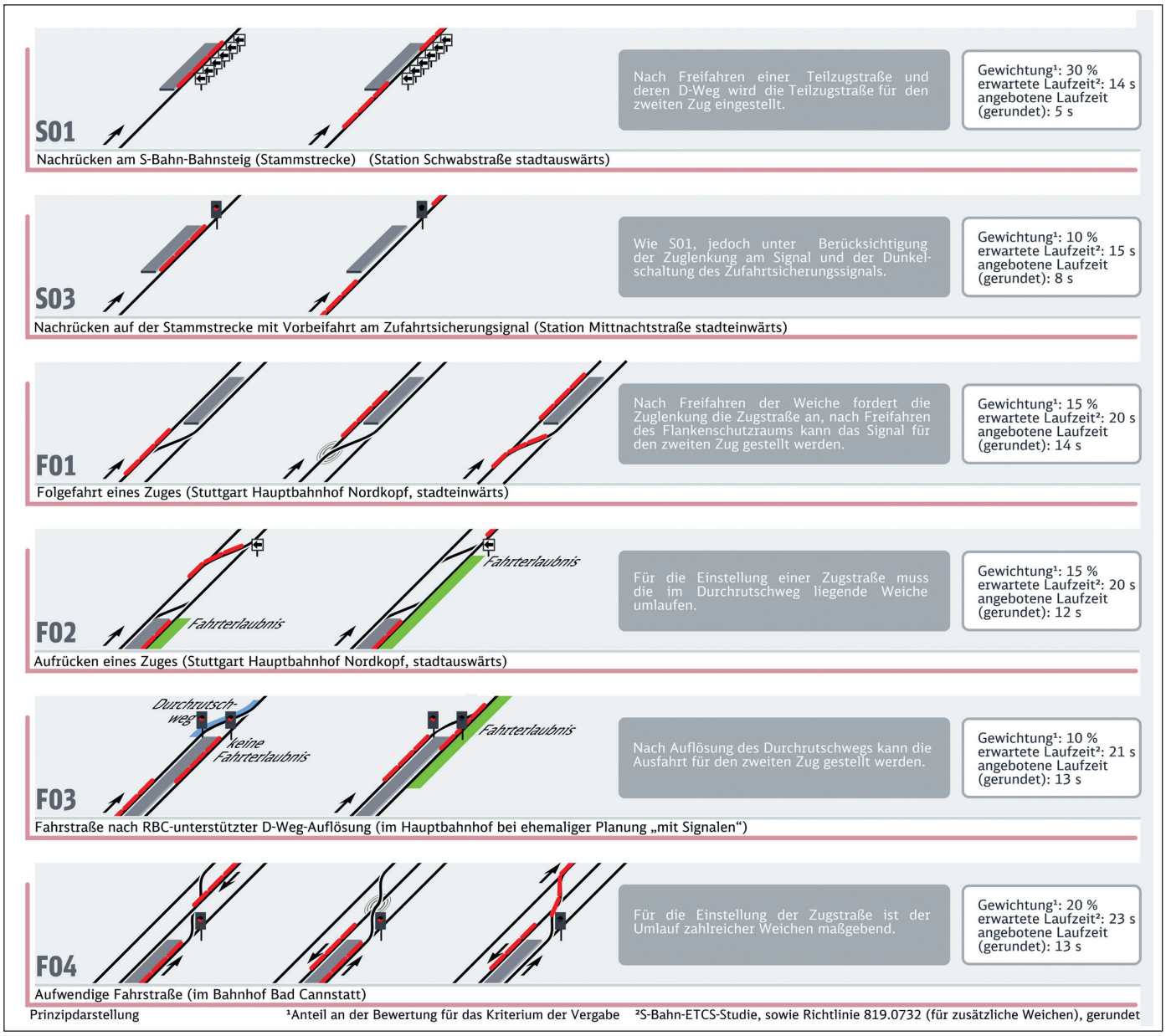

Abb. 5: Überblick über die Laufzeitszenarien mit bislang unterstellten und inzwischen vertraglich vereinbarten Zeiten

zentralen Komponenten (wie Stellwerkskern und ETCS-Z) beleuchtet werden.

Auch die Granularität der abzufragenden Laufzeiten war festzulegen. Bei konkreten Betriebsabläufen sind die Gesamtlaufzeiten von einem definierten Start- zu einem Endereignis relevant (zumeist Freifahren bis verarbeiteter Fahrterlaubnis für den nächsten Zug). Wird nur diese Gesamtzeit abgefragt, herrscht jedoch keine Transparenz über die Entstehung. Insbesondere können Einflüsse einzelner Laufzeitkomponenten oder auch durch die Parallelisierung bestimmter Aktivitäten nicht ermittelt werden. Die Abfrage elementarer Lauf- oder Verzögerungszeiten, über die die Gesamtlaufzeit dann errechnet werden kann, erwies sich somit für Transparenz und Vergleichbarkeit von Angeboten sowie für die spätere Überprüfung der tatsächlich erreichten Zeiten als zielführender. Des Weiteren erlaubt es eine vergleichbare und neutrale Integration von Komponenten, die vom Betreiber beigestellt (Übertragungssystem) und damit durch die LST-Lieferanten nicht beeinflusst werden können, sowie eine spätere Validierung der tatsächlich erreichten Zeiten im Rahmen von Labor- oder Feldtests (Abb. 3).

Darauf aufbauend wurden für die Ausschreibungsunterlagen [5] sechs konkrete Szenarien mit unterschiedlichen Schwerpunkten definiert (Abb. 5). Diesen lagen die konkrete damalige LST-Planung sowie Zugfahrten mit vorgegebenen Geschwindigkeiten zugrunde. Die anhand der Systemarchitektur zu erwartenden Laufzeiten wurden in einem Sequenzdiagramm definiert. Dies erlaubte es auch, parallele Ereignisse anzugeben, deren konkrete zeitliche Abfolge von der Dauer einzelner Verarbeitungsketten abhängt (Abb. 4). Auf Basis der logischen oder physikalischen Abhängigkeiten wurden außerdem Berechnungsvorschriften vorgegeben, wie die Gesamtszenariolaufzeit zu ermitteln und später im Labor sowie im Feld nachzuweisen ist. Sämtliche Zeiten mussten von den Bietern sowohl unter geringer Systemlast (nur die im Szenario benannten Züge) als auch bei hoher Last im entsprechenden Stellabschnitt angegeben werden, wofür die Häufigkeit und die Verteilung weiterer Ereignisse auf Basis von Betriebssimulationen vorgegeben wurden.

Ergebnisse

Nach dem Zuschlag an Thales wurden die angebotenen Laufzeiten zum verbindlichen und abnahmerelevanten Vertragsbestandteil. Im Ergebnis konnten die vereinbarten Laufzeiten gegenüber den Erwartungen der S-Bahn-ETCS-Untersuchung um 5 bis 10 s ver-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

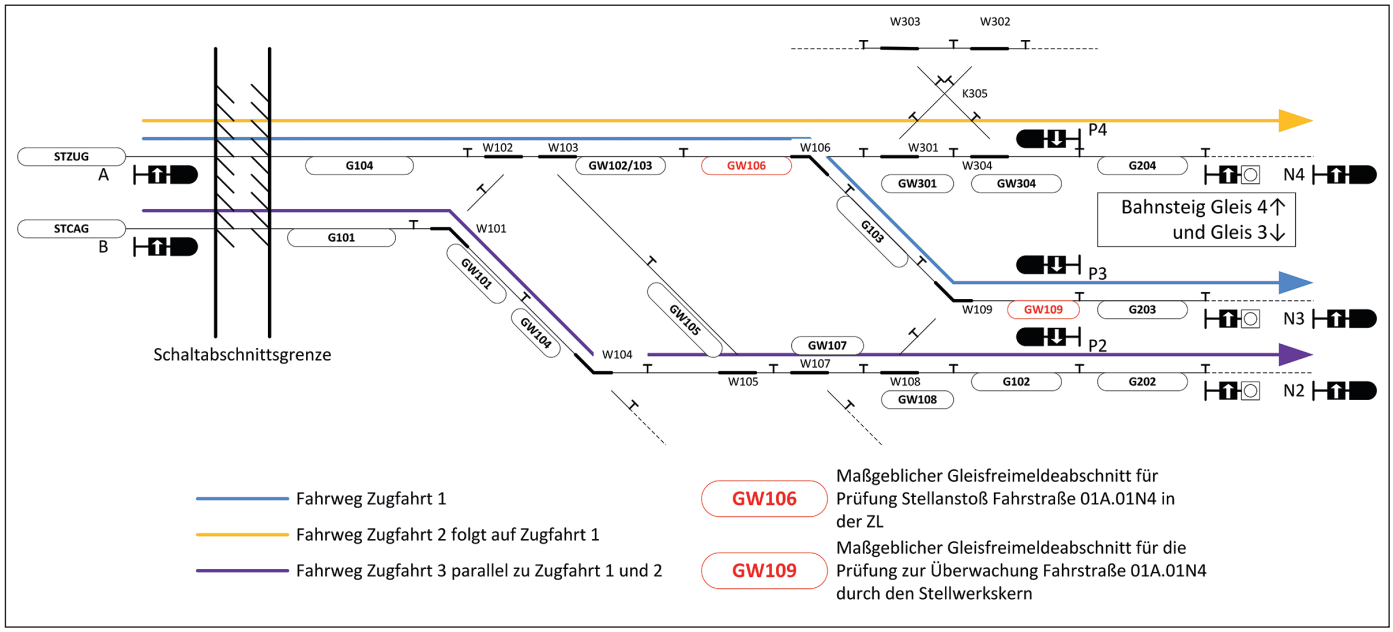

Abb. 6: Schematische Darstellung Referenzszenario F01 nach Ausschreibungsunterlagen (damals noch mit Licht-Hauptsignalen)

kürzt werden (Abb. 5). Neben niedrigen Verarbeitungs- und Übertragungszeiten in bzw. zwischen den Teilsystemen trägt der gezielte Verzicht auf Teilsysteme zu diesen kurzen Laufzeiten bei, beispielsweise der Verzicht auf Lichtsignale und deren Dunkelschaltung.

Unter anderem wurde in dem für die Mindestzugfolgezeit der S-Bahn-Stammstrecke maßgebenden Fall (Szenario S01 – Teilzugstraße am Blockkennzeichen ohne Weichen) eine um 9 s unter den Erwartungen liegende Laufzeit vereinbart. Ein Teil dieser Verkürzung geht auf den im Zuge des Verhandlungsverfahrens von Thales vorgeschlagenen Selbststellanstoß zurück – damit kann die Zuglenkung mit ihren zusätzlichen Verarbeitungs- und Übertragungszeiten umgangen werden.

Die mit 10 s größte Verkürzung wird im Szenario F04 erreicht. Dazu trägt auch ein völlig parallelisierter Umlauf einer Reihe von Weichen bei.

Umsetzung

In der Angebotsphase konnte Thales vielfach auf eigene Messungen und Leistungsnachweise zurückgreifen, nachdem einige internationale Kunden schon zuvor Nachweise über die Verarbeitungs- und Übertragungszeiten von Teilsystemen gefordert hatten. Darüber hinaus wurden die „zentralen" Teilsysteme wie Stellwerkskern und ETCS-Z für eine hohe Leistungsfähigkeit entwickelt, um über ein breites betriebliches Lastspektrum gleichbleibende, kurze Verarbeitungszeiten zu gewährleisten. Auch verfügt Thales über langjährige Erfahrungen mit kurzen LZB-Blöcken auf der S-Bahn-Stammstrecke München.

Die elementaren Laufzeiten wurden für das Angebot basierend auf den Verarbeitungs- und Übertragungszeiten ermittelt, die dem Schwellwert entsprechen, der 80 % bzw. 90 % aller gemessenen Werte abdeckt. Sie wurden darauf aufbauend, entsprechend den Referenzszenarien, zu einer Verarbeitungs- und Übertragungszeit für das jeweilige Referenzszenario aufsummiert. Die zugrundeliegenden chronologischen Verarbeitungsschritte mussten dabei während des Ausschreibungsverfahrens kontrolliert, korrigiert oder bestätigt werden. Die Berücksichtigung von parallelen Vorgängen spielt bei einigen Referenzszenarien, wie z. B. F01, eine wichtige Rolle. Ein Optimum wird hier erlangt, wenn die fahrdynamischen Eigenschaften der Züge die maßgeblichen Faktoren für die summierte Verarbeitungs- und Übertragungszeit bleiben. Das bedeutet, dass der Zeitbedarf der Teilsysteme für Fahrstraßenbildung, -auflösung und anteilig der Signalsicht immer so gering ist, dass der Prozess, in diesem Fall der Fahrbetrieb, nicht verzögert wird. Am Beispiel des Szenarios F01 wird dies deutlich (Abb. 6).

Den Teilsystemen der Thales-Lösung reicht die Zeit, die bis zur Freifahrt des maßgeblichen Gleisfreimeldeabschnitts GW109 (rot) durch

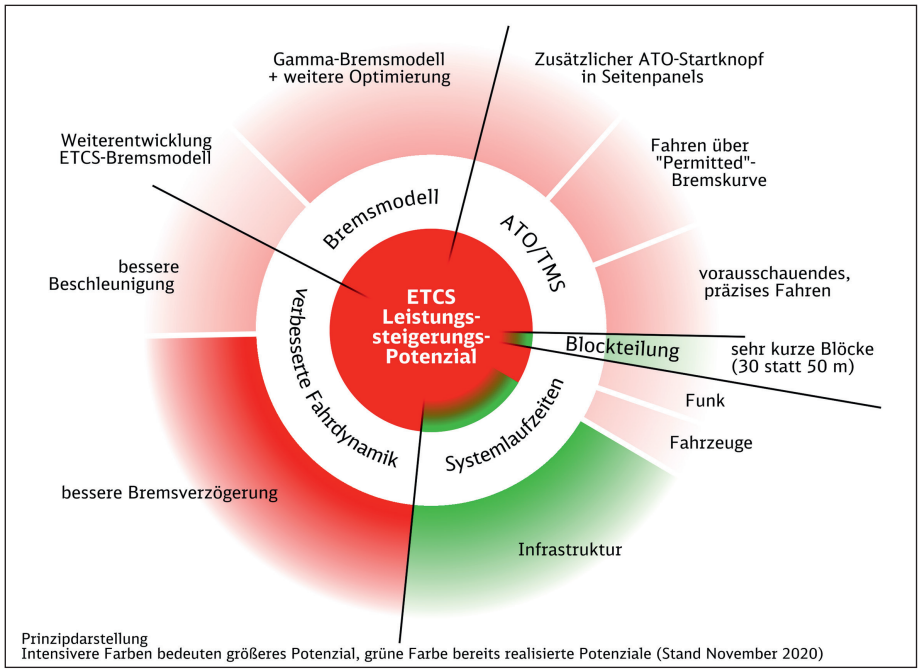

Abb. 7: Neben der mikroskopisch optimierten, bis zu 30 m kurzen Blockteilung sind die optimierten Infrastrukturlaufzeiten zwei inzwischen gehobene Potenziale der S-Bahn-ETCS-Untersuchung von 2018. Eine Reihe weiterer Potenziale verbleibt.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

den vorausfahrenden Zug 1 (blau) benötigt wird, um die zeitintensiven Operationen, wie z. B. Weichenumstellung von W106, auszuführen. Mit Freifahrt und Auflösung von GW109 braucht dann nur noch die finale Überprüfung und Überwachung / Festlegung für die Zugstraße 01A.01N4 erfolgen. Durch die rechtzeitige Prüfung des Stellanstoßes und die geringen Verarbeitungs- und Übertragungszeiten sind alle beweglichen Fahrwegelemente für die Folgezugfahrt vorbereitet. Mit der Thales-Lösung sind dabei die fahrdynamischen Eigenschaften des vorausfahrenden Zuges maßgebend, Verarbeitungs- und Übertragungszeiten fallen nahezu nicht ins Gewicht: GW109 wird 8 s nach Freifahrt des Gleisfreimeldeabschnitts GW106 freigefahren; in dieser Zeit werden die Vorbereitungen für die Folgezugfahrt (gelb) abgeschlossen, darunter der Umlauf von W106. Die Auflösung der letzten Teilfahrstraße von Zug 1, Festlegung und Überwachung der Teilfahrstraße für Zug 2, Dunkelschaltung des Startsignals A und Generierung der Fahrterlaubnis für Zug 2 benötigen in der Thales-Lösung nur noch 2,9 s.

Vor allem in hochbelasteten Bereichen ermöglichen leistungsfähige Teilsysteme für die Betriebsdisposition, Fahrwegsicherung und Zugbeeinflussung niedrigere Zugfolgezeiten durch die Realisierung von kurzen Verarbeitungs- und Übertragungszeiten in allen Teilsystemen und eine prozessablaufnähere, automatische Betriebsdisposition.

Ausblick

Mit den erreichten kurzen Infrastrukturlaufzeiten wurde ein wesentlicher Teil der 2018 ausgewiesenen Potenziale gehoben (Abb. 7). Im Ergebnis entsteht nun unter anderem das wohl schnellste Stellwerk Deutschlands in Stuttgart. In Verbindung mit der mikroskopisch optimierten Blockteilung [6] werden damit auf der Stammstrecke Mindestzugfolgezeiten (mit Langzügen) von rund 100 s erreicht. [7]

Eine Reihe weiterer Potenziale verbleibt auf der S-Bahn wie auch auf der Fernbahn [8] – darunter weiter verkürzte Laufzeiten: So werden noch 2021 die Ausrüster der S-Bahn- und Regionaltriebzüge nach Vergabe gemäß Lastenheft Verarbeitungszeiten für definierte Fahrterlaubnisse benennen – bislang sind hierfür (konservativ) die Mindestanforderung nach ETCS-Spezifikation (1,5 s) hinterlegt. Beim Funk und weiteren Schnittstellen (bisher 1,8 s) liegen in der Vermeidung von Handovern in kritischen Bereichen, dem Verzicht auf GPRS und der Ausnutzung der zulässigen Bandbreite von 9,6 statt 4,8 kBit/s mittelfristige Potenziale; mit dem 5G-basierten GSM-R-Nachfolger FRMCS, der im Rahmen der Fahrzeugausrüstung vorgesehen ist, dürfte die Funklaufzeit langfristig gegen 0 gehen.

Am Ende dieses Weges könnten bis zu 2 s kurze Ende-zu-Ende-Laufzeiten stehen. Zusammen mit weiteren Optimierungen werden damit nicht zuletzt deutlich mehr Züge auf der S-Bahn-Stammstrecke fahren können. Als größter Laufzeitanteil im Feld verbleiben dabei Weichen, deren Energieversorgung für exakt gleichzeitige Stellanstöße und parallele Stellvorgänge ausgelegt wird. Weitere Potenziale liegen in vorausschauenden Einzelelementanstößen, ETCS-Z-unterstütztem Flankenschutz (einer Art „virtuellem Lichtschutz" in Bereichen „ohne Signale" anstelle des Lichtschutzes durch Sperrsignale) oder direkten Stellanstößen aus der ETCS-Z an die Zuglenkung (unter Umgehung des Stellwerkskerns).

Nach der Vergabe gilt es nun, die vereinbarten Laufzeiten in die Praxis umzusetzen. Noch bevor erste Teile des Stellwerks und ETCS ab Ende 2023 schrittweise in Betrieb gehen, ist die Erfüllung der vereinbarten Laufzeitanforderungen auf den Systemtestanlagen in den Laboren von Thales nachzuweisen. Mit den 2025 anstehenden Inbetriebnahmen der S-Bahn-Stammstrecke und des neuen Hauptbahnhofs werden die deutlich verkürzten Laufzeiten schließlich ihre volle Wirkung entfalten. ■

Stand aller Angaben: April 2021

QUELLEN

[1] DB-Richtlinie 405 „Fahrwegkapazität"

[2] Wanstrath, S. et al.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR, 4/2020 (https://bit.ly/3pyuXfg)

[3] Beyer, M. et al.: ETCS als Trägersystem zur Leistungssteigerung bei der S-Bahn Stuttgart, SIGNAL+DRAHT, 6/2019 (https://bit.ly/2MJ4zAY)

[4] Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart. Abschlussbericht, insbesondere S. 265 (https://bit.ly/2Yyaw6h)

[5] Anhänge B und J sowie Anlage 03.0.2.1 in http://web.archive.org/web/20191021152442/https://bieterportal.noncd.db.de/evergabe.bieter/DownloadTenderFiles.ashx?SubProjectId=5iptqfzXFeU%3D (archiviert vom Original, abgerufen am 15.3.21)

[6] Hierzu folgt in SIGNAL+DRAHT 7+8/2021 noch ein vertiefender Artikel.

[7] Neuhäuser, R.; Reinhart, P.; Richter, R.; Vogel, T: Digitaler Knoten Stuttgart: Digitalisierung ist kein Selbstzweck. Deine Bahn, 3/2021 (http://www.bsu.link/artikel-deine-bahn-digitalisierung)

[8] Bojic, M. et al.: ETCS in großen Bahnhöfen am Beispiel des Stuttgarter Hauptbahnhofs, SIGNAL + DRAHT, 4/2021

Marc Behrens
DSTW/ETCS-Grundsätze
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
Marc.Behrens@deutschebahn.com

Dr. Mirko Caspar
Freigabe und Entwicklungsbegleitung DLST
DB Netz AG, Frankfurt am Main
Mirko.Caspar@deutschebahn.com

Dr. Andreas Distler
Verifikation und Validierung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Braunschweig
Andreas.Distler@dlr.de

Dr. Nikolaus Fries
Architektur DLST u. Entwicklung DSTW
DB Netz, Frankfurt am Main
Nikolaus.Fries@deutschebahn.com

Sascha Hardel
Fahrwegkapazität und EBWU
DB Netz AG, Dresden
Sascha.Hardel@deutschebahn.com

Jan Kreßner
Leitsysteme operativ
DB Netz AG, Berlin
Jan.Kressner@deutschebahn.com

Ka-Yan Lau
DSTW/ETCS-Grundsätze
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH,
Stuttgart
Ka-Yan.Lau@deutschebahn.com

Rolf Pensold
Main Lines Signalling
Thales Deutschland GmbH, Berlin
rolf.pensold@thalesgroup.com

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH; DB Netz AG; DLR; Thales Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH