

Entwicklung von Varianten für den Einsatz von ETCS auf Nebenstrecken

Forschungsergebnisse zu ETCS-Ausrüstungsvarianten für schwach belastete Bahnen



Abb. 1: Schwach belastete Strecken verfügen heute oft über veraltete und personalintensive LST.

ULRICH MASCHKE | RICHARD KAHL |
MARIO FIETZE

Typischerweise verfügen Neben- und schwach belastete Hauptbahnen („Nebenstrecken“) über abweichende Eigenschaften gegenüber mäßig und stark belasteten Hauptbahnen („Hauptstrecken“). Charakteristisch hierfür sind wenige Züge pro Zeiteinheit, geringe Geschwindigkeiten und einfache betriebliche Verhältnisse, was eine einfachere sicherungstechnische Ausrüstung sowie einfache Betriebsverfahren ermöglicht. Die Bahnübergangsdichte ist überdurchschnittlich, und viele Bahnübergänge (BÜ) sind nichttechnisch gesichert. Die zukünftige Ausrüstung der Hauptstrecken mit modernen Stellwerken (elektronische Stellwerke der 2. Generation, häufig auch als Digitales Stellwerk – DSTW bezeichnet) und European Train Control System (ETCS) ist in mehreren Studien beschrieben. Im Gegensatz dazu steht für Nebenstrecken noch kein Konzept für die zukünftige Ausrüstung zur Verfügung. Ebenso existiert in

der europäischen Systemspezifikation für ETCS keine spezielle Betrachtung dieses Anwendungsfeldes, z. B. durch angepasste Betriebsmodi. Um diesem Umstand abzuhelfen, beauftragte das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) die Studie „ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen“, die erstmals Ergebnisse für dieses Anwendungsfeld liefert.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, ausgehend vom durch die DSTW- und ETCS-Spezifikation bereitgestellten Funktionsbaustein, kostengünstige und praxistaugliche Lösungsvarianten für einfache betriebliche und infrastrukturelle Verhältnisse zu entwickeln. Dazu waren angepasste Ausrüstungsvarianten und ein Migrationskonzept zu erarbeiten sowie für die Umsetzung erforderliche Weiterentwicklungen bzw. Forschungsfelder zu identifizieren. Randbedingung war, dass die Lösungen weitestgehend den aktuellen strategischen Zielen der Digitalisierung in der Leit- und Sicherungstechnik (LST) entsprechen und möglichst keine Änderungen der verordnungsrechtlichen Grundlagen (insbesondere

Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung – EBO) erfordern. Außerdem wurde festgelegt, dass ausschließlich Infrastruktur nach EBO zu berücksichtigen ist.

Vorgehen

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte durch ein Konsortium aus der Dresdner Ingenieurgesellschaft für Sicherungstechnik und Bau mbH (ISB) und der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden. Beide Projektpartner konnten dabei ihre individuellen Erfahrungen im Bereich der LST einbringen.

Zur Eingrenzung des Betrachtungsraumes wurden im ersten Schritt Eigenschaften definiert, die die Nebenstrecken aufweisen müssen. Für die dadurch ausgewählten Strecken erfolgte eine Bestandsabfrage nach Infrastrukturausrüstung und Betriebsverfahren. Anschließend erfolgte eine Gruppierung nach Belastung und Geschwindigkeit, woraufhin jede Gruppe durch eine Sicherungsstufe (SIS) beschrieben wurde. Im nachfolgenden Arbeitspaket wurden Ausrüstungsalternativen für jede SIS entwickelt und diskutiert sowie

anschließend für ausgewählte Varianten ein Migrationskonzept erstellt. Finalisiert wurde die Betrachtung durch Beschreibungen notwendiger Entwicklungen sowie Forschungsbedarfe, um zukünftig eine effektive und passgenaue Ausrüstung von Strecken mit geringer Auslastung zu ermöglichen.

Datenerfassung

Aufbau

Zunächst musste eine Eingrenzung des Betrachtungsraumes erfolgen. Dazu wurden von den nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE) alle Strecken und von den Eisenbahnen des Bundes (EdB) die Strecken ausgewählt, die eine Geschwindigkeit von ≤ 120 km/h sowie eine Verkehrsstärke von maximal 60 Zügen pro Tag aufweisen. Diese recht großzügige Auslegung des Begriffs „Nebenstrecke“ wurde bewusst gewählt, um den Betrachtungsraum nicht von vornherein zu sehr einzuschränken. Von diesen Strecken wurden die derzeitige technische Ausrüstung und das angewendete Betriebsverfahren abgefragt. Die Ermittlung der Eigenschaften musste unterschiedlich vorgenommen werden: So konnten die Daten bei den EdB durch eine zentrale Abfrage erfolgen. Die Daten der NE mussten relativ aufwendig durch eine Mitgliederbefragung im Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) ermittelt werden, die erfreulicherweise eine hohe Rücklaufquote hatte, wodurch Daten über etwa die Hälfte des NE-Netzes vorlagen. Als Ergebnis wurden 42 % des Netzes der EdB zum Betrachtungsraum gezählt, die mit rund 1700 Stellwerken aller Bauformen ausgerüstet sind. Die Daten der NE wurden hochgerechnet. Eine detaillierte Auswertung enthält [1].

Entwicklung von Sicherungsstufen

Aus den Daten zu den sicherungstechnischen Anforderungen bezüglich der Stellwerks- und Zugbeeinflussungsfunktionalität (gemäß EBO und anderer normativer Vorgaben) wurden Strecken gleicher Eigenschaften einer Sicherungsstufe zugeordnet. Die Merkmale einer SIS zeigt Tab. 1.

Ergebnisse der Datenabfrage

Nach Abzug einiger weniger Strecken, die sich aufgrund unvollständiger Angaben nicht zweifelsfrei einer SIS zuordnen ließen, ergaben sich die in Tab. 2 und 3 dargestellten Umfänge. Aus den dargestellten Daten lassen sich bereits zwei wesentliche Erkenntnisse ableiten. Der überwiegende Anteil der EdB-Nebenstrecken wird den höheren Sicherungsstufen (SIS 21 und 22) zugeordnet. Diese Sicherungsstufen deuten gleichzeitig auf eine konventionelle, d.h. bereits bekannte ETCS-Level 2 (L2)-Ausrüstung hin. Die Ursache lässt sich auch vielfach in der Widmung nach EBO sowie den darin enthaltenen Ausrüstungsvorschriften finden, die heute nicht mehr immer der betrieblichen Realität entsprechen.

SIS	Anforderungen an Stellwerksfunktionalität	Anforderungen an Zugbeeinflussungssystem
21	höchste	höchste
22	vereinfacht (wie ESTW-R)	vereinfacht (ohne „Anfahren gegen Halt überwachen“)
33	keine	minimal (wie technisch unterstützter Zugleitbetrieb – TUZ)
34	keine	keine
00	wie anschließende Strecken	

Tab. 1: Merkmale der Sicherungsstufen

Abhilfe könnte hier – ohne Änderung der EBO – geschaffen werden, wenn inzwischen schwach belastete Hauptbahnen zu Nebenbahnen umgewidmet würden. Ebenso (aber in viel geringerem Umfang) gibt es Nebenbahnen, die durch ihr gestiegenes Verkehrsaufkommen heute eher einer Hauptbahn entsprechen. Die NE-Bahnen zeigen erwartungsgemäß ein großes Potenzial für einfache betrieblich-technische Lösungen.

Ausrüstungsvarianten

Anschließend wurden die SIS-Ausrüstungskonzepte für Stellwerks- und Zugbeeinflussungssysteme erstellt und diskutiert. Hierbei konnten allgemeingültige Grundsätze für Stellwerksfunktionen und ETCS herausgestellt werden, die unabhängig von der SIS Umsetzung finden. Beispielhaft sei hier die vollumfängliche Anwendung von standardisierten Stellwerksschnittstellen (nach EULYNX) und die Verwendung von ETCS Level 1 in der Betriebsart Full Supervision (L1 FS) für NE-Bahnen genannt.

ETCS-Ausrüstung der Sicherungsstufen

Die SIS 21 stellt die höchsten Anforderungen an die Funktionalität des Zugbeeinflussungssystems. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer vollständigen streckenseitigen Ausrüstung. Hierbei wird die Ausrüstung der bundeseigenen Bahnen mit etabliertem ETCS (z.B. L2) empfohlen, für die NE-Bahnen kann zusätzlich die Ausrüstung mit L1 FS vorgesehen werden.

Für die Ausrüstung von Strecken der SIS 22 können Vereinfachungen gegenüber der Ausstattung von SIS 21-Strecken vorgenommen werden. Diese basieren hauptsächlich auf den Vorgaben der Richtlinien 819.1502 und 819.1503 (LST-Anlagen planen, Nebenbahnen). Strecken, die der SIS 33 zugeordnet sind, verfügen üblicherweise über eine einfache technische Ausrüstung. Häufig werden ortsgestellte Weichen oder Rückfallweichen verwendet, ein Stellwerk ist oft nicht erforderlich. Als Betriebsverfahren wird heute meist der Zugleitbetrieb (ZLB), teils mit technischer Unterstützung (TUZ), angewendet. Menschliche Handlungen neh-

SIS	Hauptbahn, Zugmeldebetrieb	Nebenbahn, Zugmeldebetrieb	Nebenbahn, Zugleitbetrieb	Summe
	Länge [km]			
21	7435	1161	-	8596
22	-	2495	-	2495
33	-	-	234	234
34	-	425	273	698
00	73	-	-	73
Summe	7508	4081	507	12096

Tab. 2: Zuordnung der ausgewerteten EdB-Strecken zu den Sicherungsstufen

SIS	Hauptbahn, Zugmeldebetrieb	Nebenbahn, Zugmeldebetrieb	Nebenbahn, Zugleitbetrieb	Summe
	Länge [km]			
21	29	149	-	178
22	-	587	-	587
33	-	-	459	459
34	-	40	319	359
00	94	-	-	94
Summe	123	776	778	1677

Tab. 3: Zuordnung der ausgewerteten NE-Bahnen zu den Sicherungsstufen

men dabei eine zentrale Rolle ein, nur im TUZ wird eine (sehr einfache) Zugbeeinflussung verwendet. Ausrüstungsvarianten für SIS 33 werden nachfolgend vertieft betrachtet.

Für die SIS 00 (Verbindungsstrecken) wird die Ausrüstung analog zu den zu verbindenden Strecken empfohlen, um Transitionen der Zugbeeinflussung zu vermeiden, die unnötig Aufmerksamkeit des Triebfahrzeugführers (Tf) erfordern.

Ausrüstungsvarianten für SIS 33

Die Ausrüstungsvarianten der SIS 33 sollen im Folgenden vertieft betrachtet werden. Strecken, deren Verkehr mit ZLB bzw. TUZ gesichert wird, sind bislang in ETCS-Ausrüstungsstrategien nicht gesondert berücksichtigt. Doch auch hier sind ETCS-kompatible Lösungen erforderlich, zumal zu erwarten ist, dass ETCS langfristig zum Netzzugangskriterium wird. Eine Vollausrüstung mit ETCS (z. B. L2) ist jedoch nicht wirtschaftlich.

Es wurden mehrere Varianten untersucht, darunter Lösungen mit ETCS signalgeführt (ESG) oder Fahrt in der Betriebsart Staff Responsible (SR). Beide Varianten sind grundsätzlich geeignet, wobei eine Fahrt in SR auch zukünftig der Rückfallebene vorbehalten bleiben soll und somit nicht empfohlen wird. Die Anwendung von ESG hingegen zeigt einige Vorteile. So ist beispielsweise die Anwendung bekannt, und betriebliche Regeln liegen vor. Ebenso stehen Planungsregeln zur Verfügung, die an die Besonderheiten der betrachteten Strecken angepasst werden müssten; das Betriebsverfahren (ZLB) wäre jedoch weiterhin in bekannter Weise möglich. Allerdings werden durch die Ausrüstung mit ESG auch zusätzliche Verkabelungen für Datenpunkte (DP) erforderlich. Zudem wurde zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Forschungsvorhabens die grundsätzliche Fortführung von ESG diskutiert.

Es besteht ebenso die Möglichkeit der Verwendung von ETCS Level 3 (L3), da folgende Voraussetzungen vor der Zulassung einer Fahrt immer gegeben sind: [2]

- Der Fahrweg ist immer frei von anderen Fahrzeugen, was die Betriebsart FS ermöglicht.
- Der Zug verfügt über eine Integritätsprüfung, die heutzutage bei Reisezügen relativ leicht zu realisieren ist. Bei Güterzügen erfolgt die Vollständigkeitsmeldung zunächst noch durch den Tf, doch zukünftig sind auch hier technische Lösungen zu erwarten.

Die streckenseitige Ausrüstung zeigt Abb. 2 und besteht aus ungesteuerten DP und Sig-

naltafeln. Die eingesetzten DP übertragen die Ortungsinformation, den Halt in der Betriebsart SR und die auf der Strecke gültigen Nationalen Werte (NV) an das Fahrzeug. Die Fahrerlaubnis (Movement Authority – MA) wird im festen Raumabstand vergeben, was bei den betrachteten Bahnen ausreichend und in L3 auch möglich ist. Außerdem werden Langsamfahrstellen (Temporary Speed Restriction – TSR) mit der MA übertragen.

Für L3 ist der Einsatz einer ETCS-Streckenzentrale erforderlich. Dies stellt einen zusätzlichen Kostenfaktor dar, allerdings kann dieser durch gezielte Produktentwicklung geringgehalten werden; ein Potenzial für Kostenersparnisse besteht. Näheres zur Konzeption der ETCS-Zentrale enthält der Abschnitt „Entwicklungsempfehlungen“.

Die Übertragung der MA erfolgt mittels Funk, was eine Funkinfrastruktur an den Betriebsstellen voraussetzt. Die übertragene MA kann zu den üblichen Informationen auch Angaben zu einem während der Fahrt auftretenden Funkloch enthalten, das vor der nächsten Betriebsstelle (z. B. 1000 m vor dem Ende der MA) endet. Somit ist keine vollständige Funkabdeckung entlang der Strecke erforderlich. Zur Übertragung eines Nothaltauftrags ist ein geeignetes Konzept zu entwickeln; dabei könnte die Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze eine Option sein. Die Ausrüstung mit L3 verfügt – gegenüber den anderen Varianten – über das höchste Sicherheitsniveau und stellt für die SIS 33 die Vorzugsvariante dar, deren Anwendung empfohlen wird.

Strecken, die der SIS 22 zugeordnet sind, haben (sofern auch sie einfache betriebliche Verhältnisse vorweisen) ebenfalls Potenzial, mit der beschriebenen Variante von L3 betrieben zu werden. Dadurch würde sich der Streckenumfang etwa vervierfachen und damit die Entwicklung wirtschaftlicher machen. Durch die Vorgabe, etablierten Vorschriften genügen zu müssen, ist die Variante dem Zugleitbetrieb zugeordnet. Es wäre allerdings sinnvoller, hierfür ein neues Betriebsverfahren zu entwickeln, das den Zugleitbetrieb ablöst. Durch die vollständige Überwachung durch das Zugbeeinflussungssystem können hierfür auch höhere Geschwindigkeiten als 80 km/h zugelassen werden.

Entwicklungsempfehlungen

Während der Bearbeitung des Projekts und speziell aus Diskussionen im Zuge der Um-

frage der NE haben sich, auch aufgrund der Erfahrungen der Projektmitarbeiter, vielfältige Vorschläge zur effektiven Weiterentwicklung von ETCS ergeben. Hierbei handelt es sich maßgeblich um betrieblich-technische Entwicklungspotenziale, die nachfolgend auszugsweise erläutert werden. Eine vollständige Beschreibung der Entwicklungsempfehlungen enthält [1].

Für die Ausrüstungsvariante der SIS 33 mittels L3 wird die Anpassung der ETCS-Streckenzentrale an die Anforderungen des TUZ empfohlen. Hierbei sind zwei Varianten möglich. Zum einen kann eine Streckenzentrale mit verringertem Funktionsumfang, nachfolgend als Limited-RBC (LRBC) bezeichnet, entwickelt werden. Dabei können einige Funktionen aufgrund der schlichten Infrastruktur (z. B. Rückfallweichen, einfache Netztopologie) vereinfacht werden. Andere Funktionen für die Anwendung auf SIS 33-Strecken müssen neu entwickelt werden. So soll ein LRBC zudem die Aufgaben des Zugleiters übernehmen und automatisieren. Um Ausfälle zu vermeiden, muss das LRBC hochverfügbar sein, entsprechende Konzepte und Vorgaben sind zu entwickeln.

Es können mehrere (unabhängige) Streckennetze mit einem LRBC gesteuert werden. Die Realisierung ist als Netzwerklösung umsetzbar, der Standort des LRBC ist nicht an die Bahninfrastruktur gebunden. Für Eisenbahninfrastrukturunternehmen besteht so die Möglichkeit, sich LRBC-Ressourcen zu mieten und dadurch die Kosten deutlich zu senken. Da die Funktionalität einer ETCS-Zentrale fast ausschließlich in der Software enthalten ist, beruht diese Umsetzungsvariante auf dem Prinzip „Software as a Service – SaaS“ und wird nachfolgend als „RBC as a Service – RBCaaS“ bezeichnet. Sowohl das LRBC als auch die Methode RBCaaS erfordern eine umfangreiche Entwicklung, versprechen aber hohes Einsparungs- und Automatisierungspotenzial für die Sicherung einfacher Infrastruktur.

Weiterhin sei die Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze für bahnspezifische Anwendungen genannt. Durch effektive Verschlüsselungs- und Datenaufbereitungsmaßnahmen wird eine sichere Übertragung möglich, die ein bahneigenes Kommunikationsnetz nicht mehr erfordert. Die Nutzung öffentlicher Netze wird daher empfohlen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass der Bezug von Bauelementen der LST bis-

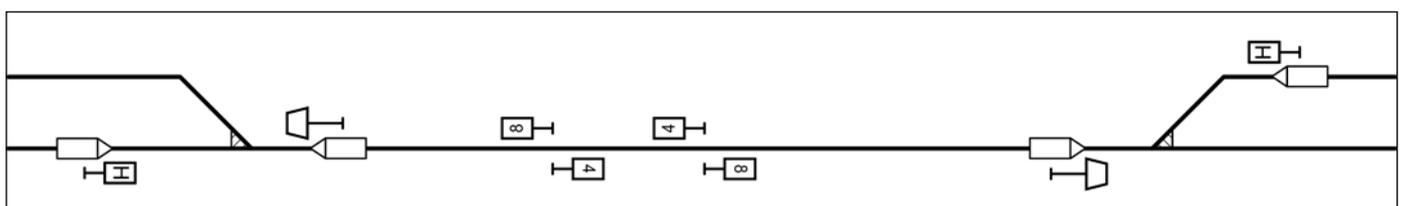


Abb. 2: Umsetzung der SIS 33 durch Anwendung von ETCS L3 (Ortungsdatenpunkte nicht dargestellt)

her meist herstellerspezifisch ist und einem anwendungsspezifischen Entwicklungs-, Zulassungs- und Wartungsprozess unterliegt. Dies verursacht hohe Kosten und ein umfangreiches Vorhaltekonzert für Ersatzbauteile. Zukünftig ist für viele Komponenten die Verwendung von Standardprodukten aus der Serienfertigung (commercial off-the-shelf oder auch components off-the-shelf – COTS) denkbar, die durch spezielle Maßnahmen „sicher“ gemacht werden.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Projekts „ETCS und DSTW auf Regional- und Nebenbahnen“ zeigen auf, wie Nebenstrecken, gruppiert nach Anforderungen, mit moderner LST ausgerüstet werden können. Speziell für die SIS 33, deren Strecken aktuell vorwiegend im ZLB betrieben werden, wurde eine neuartige, aber dennoch ETCS-kompatible Lösung auf Basis von ETCS L3 konzipiert. Entwicklungsbedarfe wie die angepasste Streckenzentrale (LRBC und RBCaaS) oder die Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze wurden aufgezeigt. Weitere Forschungsergebnisse enthält [1].

Abschließend kann festgestellt werden, dass der Funktionsbaukasten für DSTW und ETCS über Möglichkeiten zur Ausrüstung von schwach belasteten Bahnen verfügt. Die Modernisierung dieser Strecken ist somit möglich und sollte vorangetrieben werden. ■

QUELLEN

- [1] https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte/forschungsberichte_node.html
 [2] Trinckauf, J.; Maschek, U.; Kahl, R.; Krahl, C.: ETCS in Deutschland. 1. Aufl., Leverkusen: PMC Media House, 2020

VDE Fachausschuss

SICHERUNGSTECHNIK, INFORMATIK
UND KOMMUNIKATION

Dipl.-Ing. Mario Fietze

Technischer Oberregierungsrat
Wissenschaftlicher Referent
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden
fietzem@dzsf.bund.de



PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek

Kommissarischer Leiter
Professur für Verkehrssicherungstechnik
TU Dresden, Dresden
ulrich.maschek@tu-dresden.de



Dipl.-Ing. Richard Kahl

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Professur für Verkehrssicherungstechnik
TU Dresden, Dresden
richard.kahl@tu-dresden.de

DIGITAL

IST EINFACH SCHNELLER

Nutzen Sie Ihre digitalen
DER EISENBANINGENIEUR-Services
und -Leistungen und lesen Sie bereits
am Vortag die Neuigkeiten von morgen.

JETZT FREISCHALTEN

www.eurailpress.de/ei-digital



EI
DER
EISENBAN
INGENIEUR