

# Begriffe für ETCS-Ausrüstungsvarianten – eine sprachliche Neuordnung

## Terms for ETCS equipment variants – a terminological reorganisation

Ulrich Maschek | Richard Kahl | Martin Erik Sommer

Zu Beginn der ETCS-Zeit (European Train Control System, ETCS) waren die Ausprägungen von ETCS noch übersichtlich: Es gab Level 1, 2 und 3. Modi spielten für die Ausrüstungsstufe keine Rolle, und während ortsfeste Signale im Level 1 (L1) als unabdingbar galten, wurden sie für Level 2 (L2) immer als optional dargestellt. In Level 3 (L3) sollte ganz auf ortsfeste, schaltbare Signale verzichtet werden, was oft mit dem Fahren im wandernden Raumabstand (Moving Block) begründet wurde. Dies ist zwar im L3 grundsätzlich möglich, keinesfalls jedoch Bedingung – auch hier kann im festen Raumabstand gefahren werden, wofür es Anwendungsfälle gibt [5].

### 1 Motivation

Die Einführung von ETCS L2 in Deutschland ging zunächst immer mit einer Mehrfachausrüstung der Zugbeeinflussung mit PZB oder PZB+LZB (PZB: Punktförmige Zugbeeinflussung, LZB: Linienförmige Zugbeeinflussung) einher, und die Ausrüstung wurde „L2“ genannt. Doch dann kamen erste Projekte ohne Mehrfachausrüstung. Da bei diesen die ortsfesten Lichtsignale entfielen, wurde die Ausrüstung kurzerhand „L2oS“ genannt („ohne Signale“). Dies galt als Besonderheit, da es eine Ausrüstungsstufe neben „L2“ war, obwohl aus Sicht von ETCS die Einfachausrüstung eigentlich der Standard ist. Doch schon bald war die Unterscheidung zwischen L2 und L2oS nicht mehr praktikabel, da L2oS wie eine Unterart von L2 erschien. Aus L2 wurde daraufhin „L2mS“ („mit Signalen“), was logisch erscheint. Level 3 blieb als L3 ein Zukunftsprojekt, das ohne praktisch realisierte fahrzeugseitige Zugintegritätsprüfung (Train Integrity Monitoring System – TIMS) noch in weiter Ferne lag. Jedoch schien mit „Level 3 Hybrid“ (HL3), einer streckenseitigen Ausrüstung, die zu L2-Zügen (ohne TIMS) und L3-Zügen (mit TIMS) kompatibel ist, ein gangbarer Weg in die Zukunft gefunden zu sein.

Doch die Veröffentlichung der Baseline 4 (BL 4) [3] brachte viel Verwirrung durch die Integration der Funktionen von L3 in L2. Theoretisch ist das durchaus nachvollziehbar: Es wird primär nur noch unterschieden zwischen ETCS mit und ohne Funk, gleichbedeutend mit punktförmiger und bidirektionaler, kontinuierlicher Datenübertragung. Das führt jedoch dazu, dass, spricht man von L2, nun auch die betreffende Baseline genannt werden muss, auf die sich die jeweilige Variante bezieht. Ist BL 4 gemeint, muss überdies angegeben werden, ob die Variante mit TIMS (ohne Gleisfreimeldeanlage, früher L3) oder ohne TIMS (mit Gleisfreimeldeanlage, früher L2) oder eine hybride Form zur Ausführung gelangt. Die Zusammenführung von L2 und L3 und damit die Abkehr vom etablierten Begriff L3 sorgen darüber hinaus für enormen Erklärungsbedarf in der Aus- und Weiterbildung.

At the beginning of the European Train Control System (ETCS) era, the characteristics of ETCS were still clear: there were Levels 1, 2 and 3. Modes played no role for the line equipment and, while fixed signals were considered indispensable at Level 1 (L1), they were always presented as optional for Level 2 (L2). Fixed, switchable signals were to be omitted completely in Level 3 (L3), which was often justified by the fact that the trains were travelling in moving block. Although this is technically possible in L3, it is by no means a requirement – it is also possible to travel with a fixed spacing there for which there are use cases [5].

### 1 Motivation

The introduction of ETCS L2 to Germany was initially always accompanied by multiple instances of train control equipment with PZB (the national, point-type train control system) or PZB+LZB (the national, linear train control system) and this equipment was called “L2”. Then, however, the first projects without multiple instances of equipment arrived. Given that the fixed light signals were omitted, the equipment was simply called “L2oS” (“ohne Signale” – “without signals”), which was considered a special feature and was termed an equipment level alongside “L2”, although a single equipment instance is actually standard from the perspective of ETCS. However, the distinction between L2 and L2oS was soon no longer practicable, as L2oS appeared to be a subspecies of L2. As a result, L2 was redefined as “L2mS” (“mit Signalen” – “with signals”), which seemed logical and was indeed correct. Level 3 (L3) remained a future project, which was still a long way off without a practically realised train integrity monitoring system (TIMS). However, “Level 3 Hybrid” (HL3) trackside equipment that is compatible with L2 trains (without TIMS) and L3 trains (with TIMS) meant that a viable path to the future seemed to have been found. So far, so good.

However, the publication of Baseline 4 (BL 4) [3] caused a lot of confusion by integrating the functions of L3 into L2. In theory, this is perfectly understandable: the primary distinction is now only between ETCS with and without radio, synonymous with point and bidirectional, continuous data transmission. However, this means that when talking about L2, the relevant baseline to which the variant in question refers must now also be mentioned. If BL 4 is meant, it is also necessary to specify whether the variant has been implemented with TIMS (without a track vacancy detection system, previously L3) or without TIMS (with a track vacancy detection system, previously L2) or in a hybrid form. The

Eine weitere, nicht ganz logische Bezeichnung besteht: „mS“ und „oS“. Sicherlich sind Lichtsignale weithin sichtbare Ausrüstungen, doch sind sie selbst nur Merkmal und nicht Ursache. Der wahre Grund, warum bei ETCS L2 noch solche Signale aufgestellt werden, ist die Doppelausrüstung mit der PZB. Insofern ist zu unterscheiden, ob neben ETCS L2 auch noch das nationale Zugbeeinflussungssystem (National Train Control – NTC) ausgerüstet wird oder nicht. Hinzu kommt, dass es im L2 auch weiterhin Signale gibt – wenn auch im Wesentlichen nur als Signaltafeln, doch sind es Signale. Praktisch ist klar, dass unter den „Signalen“ Lichtsignale verstanden werden; formal korrekt ist es dennoch nicht.

Noch gar nicht berücksichtigt ist das künftig zu erwartende Automatische Fahren (Automatic Train Operation – ATO), das ab GoA 2 (Grade of Automation 2) relevant wird und sowohl infrastrukturelle als auch fahrzeugtechnische Ausrüstungen erfordert.

Die historisch gewachsenen Begriffe benötigen nun, unter Berücksichtigung der BL 4 und zukünftiger Entwicklungen, eine sprachliche Neuordnung, derer sich die Autoren angenommen haben. Dabei werden nicht nur infrastrukturelle, sondern auch fahrzeugseitige Ausrüstungen berücksichtigt.

## 2 Resultierende Schwierigkeiten bei der Anwendung

Die oben beschriebenen Bedingungen führen nicht nur zu Missverständnissen in der Aus- und Weiterbildung, sondern auch zu Herausforderungen bei der täglichen Arbeit mit ETCS.

- Mit der kontinuierlichen Zunahme der Komplexität, unter anderem durch Einführung von verschiedenen ATO-Stufen oder die gemeinsame Nutzung der Strecken durch Fahrzeuge mit und ohne TIMS, ist eine eindeutige Systembezeichnung unabdingbar.
- Bis zum flächendeckenden Einsatz von BL 4 muss immer die betrachtete BL mitgenannt werden. Anderenfalls kann es zu Verwechslungen kommen. Der flächendeckende Einsatz von BL 4 (oder höher) ist allerdings erst langfristig zu erwarten.
- Einsteiger in die Thematik benötigen einen größeren Lernaufwand, um mehrere Bezeichnungssysteme zu differenzieren.

Zur Verbesserung der Situation wurde durch die Autoren eine neue Bezeichnungssystematik entwickelt, die nachfolgende Eigenschaften besitzt:

- generisch bezüglich der berücksichtigten BL
- erweiterbar
- logisch und streng formal
- gleichermaßen für die Beschreibung der strecken- wie fahrzeugseitigen Ausrüstung geeignet.

## 3 Infrastrukturelle Bezeichnung

Wie bereits beschrieben, haben sich in Deutschland die Bezeichnungen L2mS, L2oS, HL3 und L3 etabliert. Bis zur BL 3 waren deren offizielle (europäische) Bezeichnungen L2 und L3, ab der BL 4 nur noch L2 (Tab. 1). Es gilt nun, logische und eindeutige Bezeichner unter der Prämisse zu finden, dass alle Ausrüstungsvarianten in Deutschland zukünftig auf ETCS L2 (nach BL 4) basieren und zukünftige Entwicklungen berücksichtigt werden.

Zunächst wird das Hauptmerkmal der nationalen Zugbeeinflussung getilgt – die „Signale“. Stattdessen wird unterschieden zwischen reinem ETCS ohne TIMS („L2“) und mit Mehrfachausrüstung („L2/PZB“, allgemein auch „L2/NTC“). Natürlich kann hier auch jedes andere nationale Zugbeeinflussungssystem genannt werden – auch mehrere.

merging of L2 and L3 and thus the departure from the established term L3 has also created an enormous need for explanation in training and further education.

There is also another, not entirely logical designation: i.e. “mS” and “oS”. Whilst light signals certainly constitute equipment that can be seen from afar, they themselves are only a symptom and not the cause. The real reason why such signals are still installed with ETCS L2 involves the doubling of the equipment with the PZB! In this respect, a distinction must be made as to whether or not the national train control system (NTC) has also been equipped in addition to ETCS L2. In addition, there are, of course still signals in L2, albeit only as a signalling board, but they are and will remain signals. In practice, of course, it is clear that the term “signals” should be understood to mean light signals. However, this is not formally correct.

This also does not take into account the upcoming automatic train operations (ATO), which will become relevant from GoA (Grade of Automation) 2 onwards and will require both infrastructural and on-board equipment.

The historically evolved terms now require a revision, taking into account BL 4 and the future developments, which the authors have addressed. Not only infrastructural, but also on-board equipment has been taken into account.

## 2 The resulting difficulties in application

The conditions described above have led to misunderstandings in education and training, but also to challenges in the day-to-day work with ETCS.

- The continuous increase in complexity, e.g. as a result of the introduction of different ATO levels or the shared use of routes by vehicles with and without TIMS, means that a clear system designation is essential.
- The BL in question must always be named until such time as BL 4 is broadly in use. Otherwise, there may be confusion. However, the widespread use of BL 4 (or higher) can be expected in the long term.
- Newcomers to signalling need a greater learning effort in order to differentiate between several labelling systems.

The authors have developed a new labelling system with the following properties in order to improve the situation:

- generic with regard to the BLs under consideration
- extensible
- logical and strictly formal
- equally suitable for the description of trackside and on-board equipment.

## 3 The infrastructural designation

As already described, the designations L2mS, L2oS, HL3 and L3 have become established in Germany. Up to BL 3, their official (European) designations were L2 and L3 and from BL 4 onwards only L2 (tab. 1). The task now is to find logical and unambiguous designators under the premise that all the equipment variants in Germany will be based on ETCS L2 (according to BL 4) in the future and that future developments will be taken into account.

Firstly, the main characteristic of NTC – the “signals” – will be eliminated. Instead, a distinction will be made between pure ETCS without TIMS (“L2“) and with multiple systems (“L2/PZB“, generally also “L2/NTC“). Of course, any other NTC system can also be named here – even several.

Bisheriger Sprachgebrauch	Verwendung nach [2] (BL 3)	Verwendung nach [3] (BL 4)	Neues Bezeichnungssystem
L2mS	L2 mixed level area	L2 mixed level area	L2/PZB (wenn PZB) L2/NTC (allgemein)
L2oS	L2	L2	L2
HL3	-	L2	L2H
L3	L3	L2	L2I
-	L2	L2	L2-A
-	-	L2	L2H-A
-	L3	L2	L2I-A

Tab. 1: Gegenüberstellung der Bezeichnungssysteme

Das hybride System, vormalig aus L2 und L3 bestehend, wird zu „L2H“. Wichtig und stringent ist dabei, dass „L2“ immer zuerst genannt wird.

Wie bereits herausgearbeitet, ist das kennzeichnende Merkmal der vormalig L3 genannten Ausrüstung, dass eine fahrerseitige Zugintegritätsprüfung vorausgesetzt wird. Diese wird mit dem Buchstaben „I“ für Integrität/Integrity gekennzeichnet. Aus L3 (BL 3) bzw. L2 mit TIMS (ab BL 4) wird damit L2I.

Ob automatisch gefahren werden kann, entscheidet nicht die Ausrüstungsvariante. Es muss lediglich ein durchgängiges Geschwindigkeitsprofil vorhanden sein, was in Vollüberwachung immer gewährleistet ist. Zusätzlich sind spezielle Projektierungen erforderlich (z. B. Timing-Point, Stopping-Point) [1]. Deshalb wird die infrastrukturelle Einrichtung für ATO durch den Zusatz „-A...“ mit entsprechender Ergänzung des GoA vorgenommen. Eine Strecke ohne Gleisfreimeldeanlage, die für Fahrten mit GoA 4 projektiert ist, hieße somit „L2I-A4“.

Tab. 1 zeigt eine Gegenüberstellung der bisher verwendeten Begrifflichkeiten, der Begriffe aus BL 3 und 4 sowie die neu entwickelte, eindeutige Bezeichnungssystematik. Eine Erweiterung z. B. für die in manchen Fällen benötigte Angabe der Systemversion

Previous usage	Usage according to [2] (BL 3)	Usage according to [3] (BL 4)	New labelling system
L2mS	L2 mixed level area	L2 mixed level area	L2/PZB (if PZB) L2/NTC (general)
L2oS	L2	L2	L2
HL3	-	L2	L2H
L3	L3	L2	L2I
-	L2	L2	L2-A
-	-	L2	L2H-A
-	L3	L2	L2I-A

Tab. 1: A comparison of the labelling systems

The hybrid system, formerly consisting of L2 and L3, will become “L2H”. It is important and stringent that “L2” is always named first. As already emphasised, the characteristic feature of the equipment formerly known as L3 involves the fact that an on-board train integrity test is required. This is labelled with the letter “I” for Integrity. L3 (BL 3) or L2 with TIMS (from BL 4) thus becomes L2I. The equipment variant does not determine whether the vehicle can be driven automatically. There simply has to be a continuous speed profile available, which is always guaranteed in Full Supervision. In addition, special project planning is also required (e.g. the timing point, stopping point) [1]. For this reason, the infrastructural equipment for ATO is provided by the suffix “-A...” with the corresponding addition to the GoA. A line without a track vacancy detection system that is planned for journeys with GoA 4 would therefore be called “L2I-A4”.

Tab. 1 shows a comparison of the previously used terms, the terms from BL 3 and 4 and the newly developed, unambiguous labelling system. An extension, e.g. for the specification of the system version required in some cases, is possible in the developed system; this was done in curly brackets. An L2 line in system version 2.2 is then referred to as L2{2.2}.

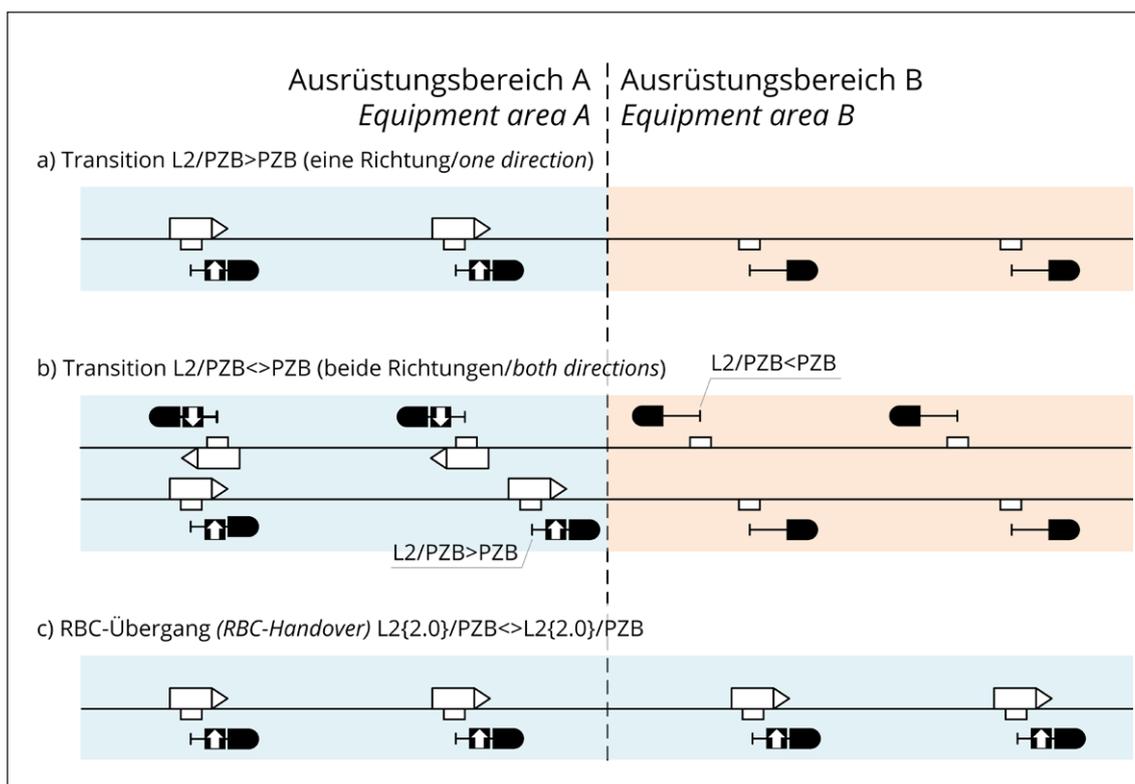


Bild 1: Anwendung des Bezeichnungssystems an Ausrüstungsgrenzen  
Fig. 1: The application of the designation system at the equipment boundaries

Bezeichnung der Fahrzeugausrüstung	Ausrüstungskomponente				
	NTC (z. B. PZB)	ETCS	GSM-R/FRMCS	TIMS	ATO
NTC (z. B. PZB)	x	-	-	-	-
L1	-	x	-	-	-
L2	-	x	x	-	-
L2I	-	x	x	x	-
L2I-A	-	x	x	x	x
L2-A	-	x	x	-	x
L2/NTC (z. B. L2/PZB)	x	x	x	-	-

Tab. 2: Fahrzeugseitige Merkmale der Ausrüstungsstufen

ist in der entwickelten Systematik möglich, dies erfolgte in geschweiften Klammern. Eine L2-Strecke der Systemversion 2.2 wird dann als L2{2.2} bezeichnet.

Treffen Ausrüstungsvarianten aufeinander, ist in der Regel eine Transition erforderlich, die ebenfalls eine Bezeichnung benötigt. Diese wird fahrtrichtungsabhängig durch eine spitze Klammer symbolisiert, wobei die Spitze in Transitionsrichtung zeigt.

Die Anwendung soll an Beispielen veranschaulicht werden. Bild 1a zeigt einen regulären Ausstieg aus L2/PZB nach PZB. Bild 1b stellt eine zweigleisige Strecke ebenfalls mit einem Ausstieg aus L2/PZB nach PZB dar. Die Ausrüstungsgrenze ist für beide Fahrrichtungen zu berücksichtigen und wird durch zwei entgegengesetzte spitze Klammern abgebildet. Diese makroskopische Sicht ist oft in frühen Planungsphasen oder systemischen Betrachtungen ausreichend. Ist eine detaillierte Betrachtung der Ausrüstungsgrenze und eine fahrtrichtungsabhängige Kennzeichnung z. B. eines Grenzsymbols erforderlich, ist dies durch das entwickelte Bezeichnungssystem ebenso möglich, z. B. bei Planbeschriftungen. Besteht Bedarf zur Nennung der Systemversion, wird sie in geschweiften Klammern genannt (Bild 1c), was bei RBC-Übergängen (Radio Block Centre, RBC) oder an Landes- bzw. Infrastrukturgrenzen zweckmäßig ist (siehe auch [4]).

4 Fahrzeugtechnische Bezeichnung

Die fahrzeugseitige Ausstattung muss mit der Ausrüstung der Infrastruktur im Einsatzgebiet korrespondieren. Abhängig von Beschaffungspräferenzen des Eisenbahnverkehrsunternehmens sind vielfältige Kombinationsmöglichkeiten der Komponenten verfügbar. Die Bezeichnung der Fahrzeugausrüstung erfolgt identisch zur Infrastruktur. Tab. 2 zeigt mögliche Ausrüstungsvarianten und deren Bezeichnung.

Streckenseitige Ausrüstung	Erforderliche Fahrzeugausrüstung				
	PZB	ETCS	GSM-R/FRMCS	TIMS	ATO
PZB	x	-	-	-	-
L1	-	x	-	-	-
L2	-	x	x	-	-
L2H	-	x	x	(x)	-
L2I	-	x	x	x	-
L2-A	-	x	x	-	x
L2H-A	-	x	x	(x)	x
L2I-A	-	x	x	x	x

Tab. 3: Mindestanforderungen an die Fahrzeugausrüstung für die Nutzung streckenseitiger Ausrüstungsvarianten

Vehicle equipment designation	Equipment component				
	NTC (e. g. PZB)	ETCS	GSM-R/FRMCS	TIMS	ATO
NTC (z. B. PZB)	x	-	-	-	-
L1	-	x	-	-	-
L2	-	x	x	-	-
L2I	-	x	x	x	-
L2I-A	-	x	x	x	x
L2-A	-	x	x	-	x
L2/NTC (e. g. L2/PZB)	x	x	x	-	-

Tab. 2: The vehicle-side characteristics of the equipment levels

If equipment variants meet one another, a transition is usually required, which also needs a designation. This is symbolised by a pointed bracket depending on the direction of travel with the tip pointing in the direction of the transition.

The application will be illustrated using examples. Fig. 1a shows a regular transition from L2/PZB to PZB. Fig. 1b shows a double-track line also with a transition from L2/PZB to PZB. The equipment limit must be taken into account for both directions of travel and is represented by two opposing pointed brackets. This macroscopic view is often sufficient in the early planning phases or systemic considerations. If a detailed view of the equipment boundary and direction-dependent labelling, e.g. of the boundary signal, is required, this is also possible using the developed designation system, e.g. for plan labelling. If the system version needs to be named, it is indicated in curly brackets (fig. 1c), which is useful for radio block centre (RBC) transitions or at national or infrastructure borders (see also [4]).

4 The technical vehicle designation

The on-board equipment must correspond to that of the infrastructure in the area of operation. A wide range of possible combinations of components are available depending on the procurement preferences of the railway undertaking. The vehicle equipment is labelled identically to the infrastructure. Tab. 2 shows possible equipment variants and their designations.

5 Combining vehicle and infrastructure

The use of vehicles on a specific infrastructure is subject to minimum requirements for the use of the route. If these are not fully guaranteed, the continuation of the journey must be prevented by

Trackside equipment	Required vehicle equipment				
	PZB	ETCS	GSM-R/FRMCS	TIMS	ATO
PZB	x	-	-	-	-
L1	-	x	-	-	-
L2	-	x	x	-	-
L2H	-	x	x	(x)	-
L2I	-	x	x	x	-
L2-A	-	x	x	-	x
L2H-A	-	x	x	(x)	x
L2I-A	-	x	x	x	x

Tab. 3: The minimum vehicle equipment requirements for the use of trackside equipment variants

## 5 Kombination Fahrzeug – Strecke

Für den Einsatz von Fahrzeugen auf einer bestimmten Infrastruktur gelten Mindestvoraussetzungen für die Nutzung der Strecke. Sind diese nicht vollständig gewährleistet, muss die Weiterfahrt durch eine sicher wirkende Zufahrtsicherung (z. B. mit Zufahrtsicherungssignal) verhindert werden. Die Fahrzeugausrüstung ist daher ausschlaggebend für den infrastrukturellen Einsatzbereich und sollte möglichst universell ausfallen. Mögliche Kombinationen aus fahrzeugseitiger und streckenseitiger Ausrüstung zeigt Tab. 3. Die mit Klammern gekennzeichneten, gelb hinterlegten Felder sind optionale Nutzungsmöglichkeiten, die durch eine hybride Streckenausrüstung (mit und ohne Auswertung der Gleisfreimeldung) begründet ist; diese können durch Fahrzeuge mit und ohne TIMS genutzt werden.

Es sei angemerkt, dass die dargestellten Mindestanforderungen nicht immer die effektivste Fahrzeugausrüstung sind. Je umfangreicher ein Fahrzeug ausgestattet ist, desto flexibler kann es eingesetzt werden, was speziell im Fernverkehr und während der Migrationsphase Vorteile mit sich bringt.

## 6 Zusammenfassung

Die Kompatibilität der Ausrüstung von Strecke und Fahrzeug ist Voraussetzung für die technische Interoperabilität; eine eindeutige Kennzeichnung ermöglicht ein einheitliches Verständnis. Die in Deutschland historisch gewachsenen Bezeichnungen für ETCS-Ausrüstungen bedürfen spätestens seit Einführung der BL 4 einer sprachlichen Neuordnung. Die Autoren haben ein neues, international verständliches Bezeichnungssystem entwickelt, dessen Anwendung die funktionale Differenzierung der verschiedenen Systemausprägungen strukturiert und eindeutig beschreibt und das für die zukünftige Verwendung im fachlichen Sprachgebrauch empfohlen wird. ■

a safe access protection system (e.g. with access protection signalling). The vehicle equipment is therefore decisive for the infrastructural area of application and should be as universal as possible. Possible combinations of on-board and trackside equipment are shown in tab. 3. The fields marked with brackets and highlighted in yellow show optional utilisation possibilities that are based on hybrid trackside equipment (with and without the evaluation of track vacancy detection); these can be used by vehicles with and without TIMS.

It should be noted that the minimum requirements shown do not always constitute the most effective vehicle equipment. The more extensively a vehicle is equipped, the more flexibly it can be used, which is particularly advantageous in long-distance transport and during the migration phase.

## 6 Summary

The compatibility of track and vehicle equipment is a prerequisite for technical interoperability; clear labelling facilitates a common understanding. The historical designations for ETCS equipment in Germany have been in need of terminological revision at least since the introduction of BL 4. The authors have developed a new, internationally understandable labelling system which is used to describe the functional differentiation of the various system versions in a structured and unambiguous manner and which is recommended for future use in technical terminology. ■

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] Trinckauf, J.; Maschek, U.; Kahl, R.: ETCS in Deutschland, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Trackmedia, 2024
- [2] European Railway Agency: Subset 026 – System Requirements Specification, Version 3.6, 2016
- [3] European Railway Agency: Subset 026 – System Requirements Specification, Version 4.0, 2023
- [4] Kahl, R.; Maschek, U.: ETCS an Infrastrukturgrenzen: Wie ETCS-Inkompatibilitäten entstehen und überwunden werden können, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2024

## AUTOREN | AUTHORS

**PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek**  
Kommissarischer Leiter / *Acting Head of Professorship*  
E-Mail: ulrich.maschek@tu-dresden.de

**Dr.-Ing. Richard Kahl**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research Associate*  
richard.kahl@tu-dresden.de

**Dipl.-Ing. Martin Erik Sommer**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research Associate*  
E-Mail: martin\_erik.sommer@tu-dresden.de

Alle Autoren / *all authors*:  
Professur für Verkehrssicherungstechnik  
TU Dresden  
Anschrift / *Address*: Hettnerstraße 3, D-01069 Dresden