

# Georeferenz in der LST – von der Planung bis zur Abnahme

## Georeference in CCS – from planning to acceptance

Volkmar Bachmann | Benedikt Wenzel | Maximilian Braun | Jonathan Schwöbel | Stefan Schröder

In den vergangenen Jahren wurde umfassend in die Optimierung der Prozesse im Bereich der Ausführungsplanung für Projekte der Leit- und Sicherungstechnik (LST) investiert: Es wurden digitale Austauschformate spezifiziert (z.B. PlanPro, Semantisches Objektmodell, internationale Datenmodelle), Richtlinien und Prozesse angepasst (z.B. zur Bestandsdatenaktualisierung und Förderung des digitalen Planungsprozesses) sowie digitale Werkzeuge rund um die genannten Datenstandards entwickelt (z.B. PlanPro-GEO-Planer, PlanPro-Werkzeugkoffer, kommerzielle LST-Planungswerkzeuge).

In recent years, extensive efforts have been made to optimise the processes in the field of execution planning for control command and signalling (CCS) projects: digital exchange formats have been specified (e.g. PlanPro, a semantic object model and international data models), guidelines and processes have been adapted (e.g. for updating existing data and promoting the digital planning process) and digital tools have been developed around the stated data standards (e.g. PlanPro-GEO-Planner, PlanPro-Werkzeugkoffer and commercial CCS planning tools).

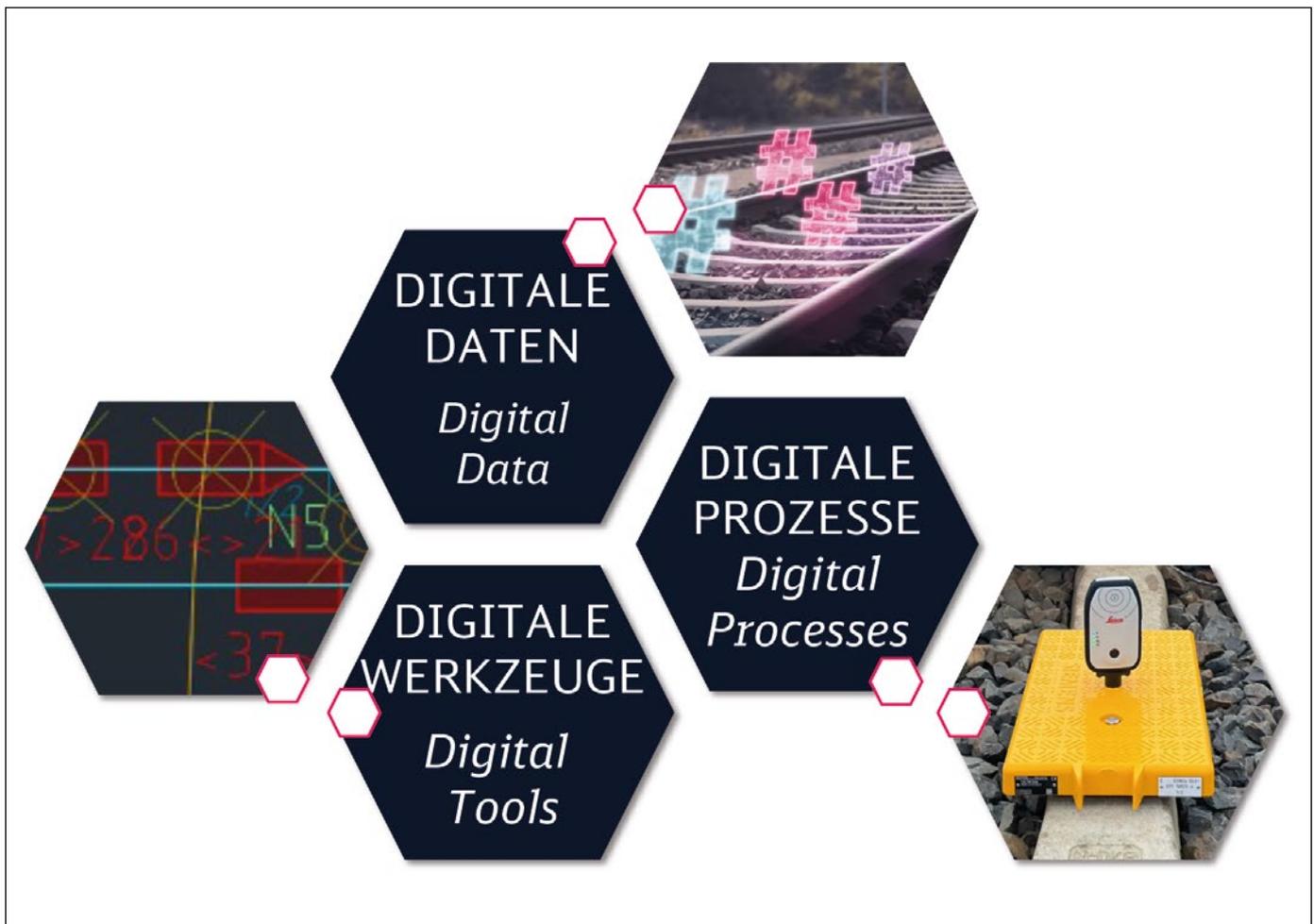


Bild 1: Die Elemente des digitalen Prozesses sind vorhanden.

Fig. 1: The elements of the digital process are available.

**1 Die positiven Effekte einer digitalisierten Vorgehensweise**

Die positiven Effekte einer digitalisierten Vorgehensweise liegen auf der Hand – dazu gehören:

- der erleichterte Datenabgleich zwischen Gewerken wie Signaltechnik, Telekommunikation, Energieversorgung,
- die verlustfreie Datenübergabe zwischen Planungs- und Realisierungsphasen sowie
- die Möglichkeit zur Automatisierung bei Planung und Prüfung.

Dieser Beitrag beleuchtet hingegen einen weiteren Baustein digitaler Planungsprozesse: Es wird die Basis gelegt für einen effizienten und kontinuierlichen Vergleich zwischen geplanter und gebauter Anlage entlang der Prozessphasen. Ziel ist dabei eine über Protokolle dokumentierte Qualitätssicherung der zur Abnahme vorgestellten LST-Anlage, um die knappe Ressource des Prüfsachverständigen in seiner Rolle zu unterstützen. Hierbei werden georeferenzierte Methoden, die in anderen Gewerken und Domänen bereits üblich sind, auch im Umfeld der LST als Alternative zum Messrad verankert. Neben technischen und regulativen Aspekten werden dabei auch die sicherheitsbezogenen Betrachtungen einbezogen –im Sinne einer vollständigen Akzeptanz. Der Beitrag beruht auf den Ergebnissen des Projekts Optimierung von Plan- und Abnahmeleistungen (OPAL), welches von DB InfraGO in Kollaboration mit NEXTRAIL GmbH und CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH durchgeführt wird.

**2 Herausforderungen der Abnahme**

Die Herausforderungen der Abnahme nach bestehenden Prozessen und Methoden der DB InfraGO werden am Beispiel des ETCS-Datenpunkts, welcher eine oder mehrere Balisen enthält, dargestellt. Hierbei definiert die Ausführungsplanung PT1 (Planteil 1) eine Distanz zu einem Bezugspunkt, wie einem Signal, Bahnübergang oder Weichenanfang. Diese Distanz wird in der Datenpunkt-tabelle für jeden Datenpunkt eingetragen. Im Zuge der Montage und Abnahme wird in der Regel mit dem Messrad die relative Distanz ab dem definierten Bezugspunkt abgerollt und somit der Standort des Datenpunkts bzw. der Balisen direkt bestimmt oder geprüft (Bild 2).

**1 The positive effects of a digitalised approach**

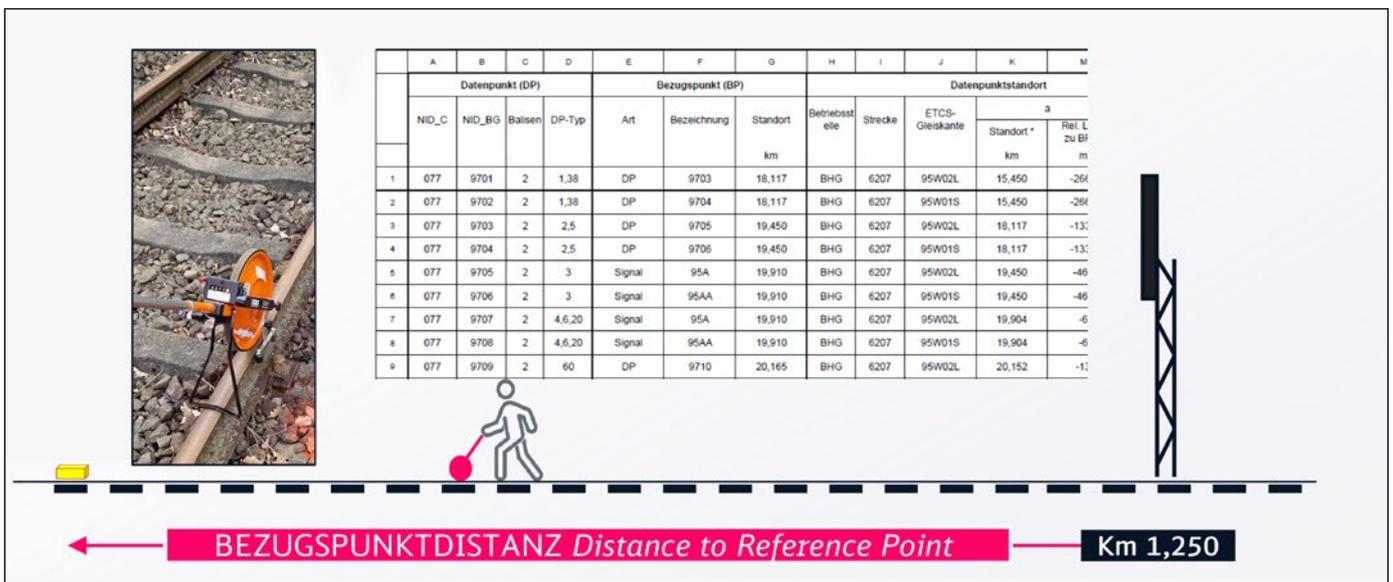
The positive effects of a digitalised approach are obvious. They include:

- easier data synchronisation between trades such as signalling technology, telecommunications and energy supply,
- loss-free data transfer between the planning and realisation phases and
- the possibility of automation in planning and verification.

However, this article highlights another digital planning process component: the basis for an efficient and continuous comparison between the planned and built system throughout the process phases. The aim is to provide quality assurance for a CCS system presented for acceptance and documented via protocols in order to support the scarce resource of the acceptance inspector in his role. Georeferenced methods, which are already common in other trades and domains, will also be integrated into the CCS environment as an alternative to the measuring wheel. Safety considerations have also been taken into account (in the sense of full acceptance) in addition to the technical and regulatory aspects. The article is based on the results of the OPAL project (engineering and acceptance optimisation), which DB InfraGO is carrying out in cooperation with NEXTRAIL GmbH and CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik GmbH.

**2 Acceptance challenges**

The acceptance challenges according to the existing DB InfraGO processes and methods are illustrated by the example of an ETCS balise group containing one or more balises. Here, the engineering (supplier-independent detail design) defines the distance to a reference point, such as a signal, level crossing or the start of a switch. This distance is then entered into the so called “list of data points” for each balise group. The relative distance from the defined reference point is usually rolled out using a measuring wheel during the installation and acceptance and the position of the balise group or the balises is thus directly determined or checked (fig. 2).



**Bild 2: Konventionelle Einmessung über Bezugspunktdistanz**  
 Fig. 2: Conventional measurement using the reference point distance

Neben der direkten Bestimmung von Distanzen im Gleis ist das Messrad basierte Verfahren mit folgenden Eigenschaften behaftet:

- Aufwand: Jedes Gleis muss einzeln abgegangen werden, um die Distanzen gleisspezifisch zu erfassen und die Balisenpositionen korrekt und vollständig zu bestimmen. Dies gilt auch für Parallelgleise und findet im Laufe des Prozesses mehrfach statt (Anzeichnen der Standorte, Abnahme der Standorte)
- Fehlerfortpflanzung: Sofern die reale (absolute) Position des Bezugspunkts abweicht, wird dies nicht erkannt. Trotz plangemäßer, lokal korrekter Bezugspunktdistanzen kann es somit zu fehlerhaften Distanzen zwischen Datenpunkten z.B. über mehrere Signalabschnitte kommen. Diese können nur durch aufwendige Abnahmefahrten vollständig identifiziert werden, welche die Ressource des Prüfsachverständigen wieder belasten.
- Distanzabhängiger Messfehler: Insbesondere bei großen Distanzen (z.B. mehrere 100 m), ggf. in Kombination mit Wettereinflüssen wie Regen, und abzuschätzende Schienenwechsel des Messrades in Bogensituationen wirkt sich der verfahrensbedingt relative Messfehler des Messrades aus.
- Abhängigkeit der Bezugspunkte: In der praktischen Anwendung sind unterschiedliche Auslegungen der Referenzorte der Bezugspunkte wahrnehmbar. So ergibt sich z.B. ein relevanter Unterschied, ob der Mast oder Signalschirm als Referenzort eines Signals als Bezugspunkt betrachtet wird. Ähnliches gilt für Bahnübergangsmitte oder -kante.
- Manuelle Dokumentation: Es findet keine automatische digitale Dokumentation der Messpunkte statt, sodass die Korrektheit und Nachvollziehbarkeit auf manuellen Prozessen beruht.

Es sei hier noch einmal betont, dass das Messrad durchaus ein geeignetes Messmittel darstellt – jedoch in einem Großteil der Anwendungsfälle durch georeferenzierte Verfahren mit besserer Effizienz ersetzt werden kann. Dies wird im weiteren Verlauf des Beitrags erörtert werden.

### 3 Die Planung als Basis für georeferenzierte Prozesse

Eine Georeferenz ist eine geografische Position in Form von Geo-Koordinaten, die mithilfe von GPS (Global Positioning System) oder anderen satellitenbasierten Systemen, zusammengefasst durch den Überbegriff Global Navigation Satellite System (GNSS), bestimmt wird. Sie ermöglicht es, Objekte mit hoher Genauigkeit in einem globalen oder lokalen Koordinatensystem zu positionieren, ohne die Notwendigkeit eines Bezugspunkts.

Bereits im Planungsprozess können georeferenzierte Elementpositionen abgeleitet werden, sofern diese auf Gleisnetzdaten im benötigten Referenzsystem (hier: DB\_REF2016) beruhen. Insbesondere bei Anwendung der digitalen Planungsmethode ist die Koordinatenbestimmung sowie deren Ausleitung, z.B. in das Standardformat PlanPro, bereits integraler Bestandteil. Im Falle der konventionellen Planung ist eine Nachprozessierung z.B. mit GIS-Software (Geographic Information System) oder anderen Verfahren möglich, um das Potenzial der Koordinaten in den Folgeprozessen zu heben. Auch Prozesse und Werkzeuge im Kontext BIM (Building Information Modeling) basieren auf georeferenzierten Verortungen der Gleise, Elemente und Umgebungsinformationen.

Mit den Geo-Koordinaten aus dem Planungsprozess entsteht eine SOLL-Position z.B. für die LST-Elemente, welche für die einfache Standortbestimmung oder Überprüfung mittels GNSS genutzt werden kann. Analog zum Messrad können auch dazu freigegebene Messmittel eingesetzt werden.

Bei der Messung wird auch eine IST-Koordinate aufgenommen, deren Abstand zur SOLL-Koordinate aus der Planung direkt ermit-

In addition to the direct determination of the distances on the track, the wheel-based measuring method also has the following characteristics:

- Effort: each track must be walked individually in order to record the track-specific distances and determine the balise positions correctly and completely. This also applies to any parallel tracks and takes place several times throughout the process (marking the locations, the acceptance of the locations)
- Error propagation: if the actual (absolute) position of the reference point deviates, this will not be detected. This can lead to incorrect distances between balise groups, e.g. over several signal sections, despite the local reference point distances being correct according to plan. These can only be fully identified by means of time-consuming acceptance train runs, which again place a strain on the acceptance expert's resources.
- Distance-related measurement errors: especially in the case of long distances (e.g. several 100 m sections), possibly in combination with weather influences such as rain and if the measuring wheel changes rails in the track curves, while the measuring wheel's relative measuring error also has an effect.
- The dependence of the reference points: different interpretations of the reference point locations exist in practice. For example, there is a significant difference between using a signalling mast or a signalling screen as the reference point. The same applies to the centre or edge of a level crossing.
- Manual documentation: the accuracy and traceability are based on manual processes, because the measurement points are not automatically digitally documented.

It should be emphasised that the measuring wheel is certainly a suitable measuring tool, but in the majority of applications it can be replaced with georeferencing methods with greater efficiency. This will be discussed later in the article.

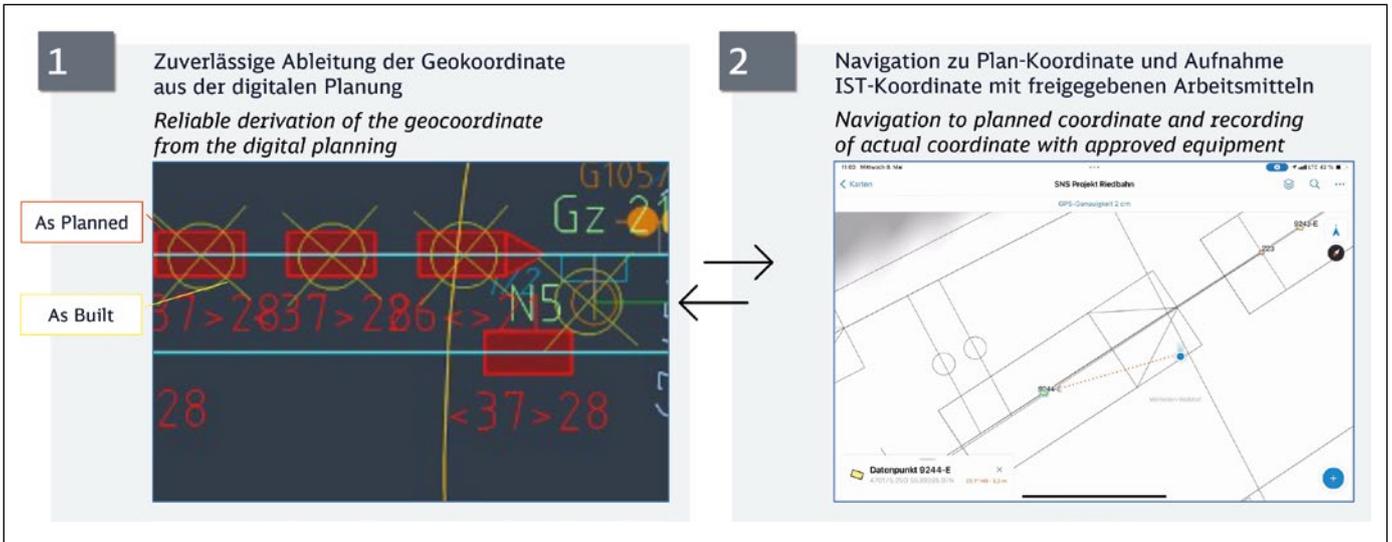
### 3 Planning as the basis for georeferenced processes

A geographic reference is a geographical position in the form of a geographic coordinate that is determined using GPS (the Global Positioning System) or other satellite-based systems summarised using the umbrella term the Global Navigation Satellite System (GNSS). It allows objects to be positioned with a high degree of accuracy in a global or local coordinate system without the need for a reference point.

Geographic referenced element positions can already be derived from the planning process, provided they are based on alignment data in the required reference system (e.g. DB\_REF2016 for DB InfraGO). Determining the coordinates and their output, e.g. in the standard PlanPro format, is already an integral part, especially when using the digital planning method. Post-processing is possible in the case of conventional planning, e.g. using GIS (Geographic Information System) software or other methods in order to exploit the potential of the coordinates in the subsequent processes. Building Information Modelling (BIM) processes and tools also rely on geographic referenced locations of tracks, elements and environmental information.

The geographic coordinate from the planning process is used to create a target position, e.g. for the CCS elements, which can be used for a simple location or for verification using the GNSS. As with the measuring wheel, approved measuring equipment can be used for this purpose.

An actual coordinate is also recorded during the measurement, and its distance from the planning coordinate can be deter-



**Bild 3: Georeferenzierte Messung und Live-Ermittlung der Abweichung Plan vs. IST**  
 Fig. 3: Georeferenced measurement and the live determination of the plan vs built deviation

telbar ist (Bild 3). Auf diese Weise kann ein kontinuierlicher, bau- und montagebegleitender Abgleich zwischen „As Planned“ und „As Built“ erfolgen.

Mit der digitalen Rückübertragung der IST-Koordinaten in die Planungswerkzeuge (Bild 4), welche die Umrechnung in Kilometer ersetzt und somit verlustfrei ist, kann eine Entscheidung zur Planungsanpassung im Falle unzulässiger Abweichungen getroffen werden. Im Nebenprodukt entsteht eine digitale Prozess- und Bestandsdokumentation, welche für die nachfolgenden Prozesse wie Abnahme und Instandhaltung einen hohen Nutzen birgt.

**4 Optimierung von Abnahme und Instandhaltung**

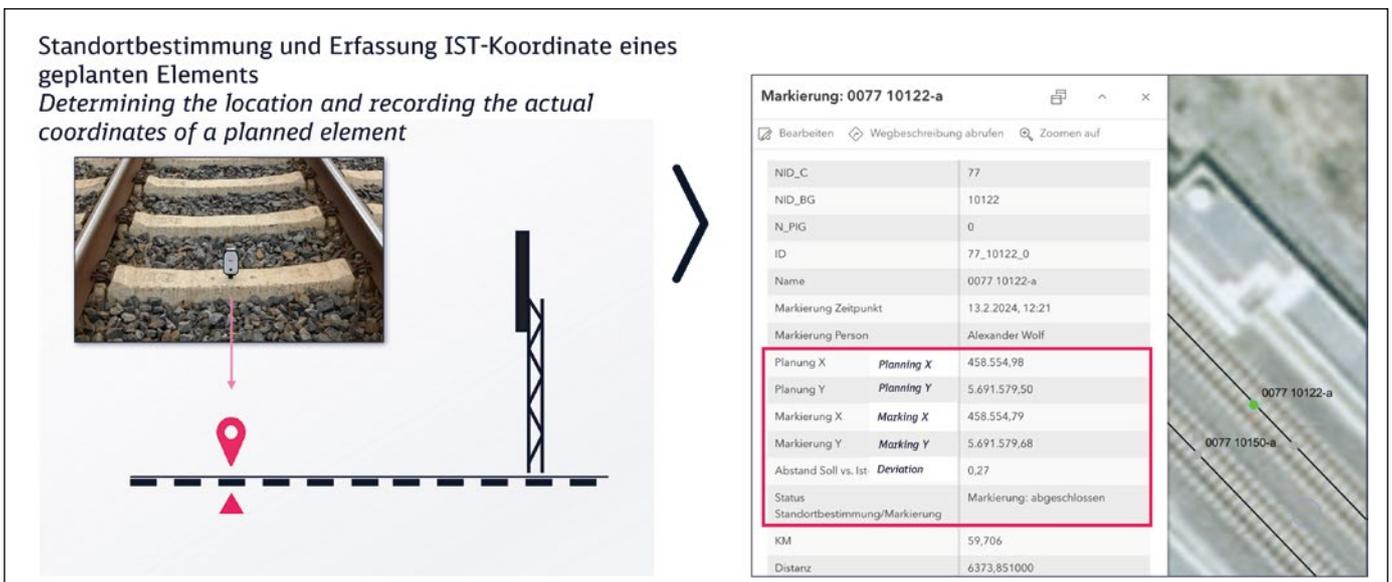
Durch die Dokumentation von Messungen und Abweichungen im durchgängig digitalen Prozess kann dem Abnahmeprüfer ein Angebot zur protokollbasierten Abnahme unterbreitet werden, welches die vollständige örtliche Prüfung ersetzt oder zumindest auf kritische Punkte

mined directly from the planning (fig. 3). In this way, a continuous comparison between “As Planned” and “As Built” can be made throughout construction and assembly.

A decision can be made to adjust the planning or installation in the event of any unacceptable deviations by digitally transferring the actual coordinates back to the planning or engineering tools (fig. 4), which replaces the kilometre conversion and is therefore lossless. The by-product is a digital process and as-built documentation, which is very useful for any subsequent processes such as acceptance and maintenance.

**4 Optimising acceptance and maintenance**

An offer for protocol-based acceptance can be submitted to the acceptance inspector using the documenting measurements and deviations in the end-to-end digital process, thereby replacing the complete on-site inspection or at least reducing it to critical



**Bild 4: Koordinaten basierte Standortbestimmung (2) und Abgleich der IST-Koordinaten mit der Planung (1)**  
 Fig. 4: The coordinate-based location determination (2) and a comparison of the actual coordinates with the planning (1)

reduziert. Stichprobenartige Prüfungen können zudem auch GNSS-basiert und somit beschleunigt erfolgen. Auch hierfür stellt sich die Frage, ob dies durch den sehr eingeschränkt verfügbaren Prüfsachverständigen selbst oder durch einen Vermesser erfolgt.

Durch Hinzunahme weiterer Informationen in das Protokoll, wie z. B. des Balisenschildes zur eindeutigen Identifikation im Fall der Balisemontage, wird unter Zusicherung des Lieferanten der zum Schild passenden Programmierung auch die Telegrammprüfung am Gleis ersetzbar (siehe auch [8]). Sofern das Verfahren für alle LST-Elemente (z. B. auch für die Bezugspunkte einer ETCS-Ausrüstung) angewandt wird, können weitere Rückschlüsse z. B. auf die Korrektheit der Projektierung gezogen werden. Für ETCS wird dadurch zusätzlich ein Potenzial zur Reduktion der Prüffälle während der aufwendigen ETCS-Abnahmefahrten gehoben.

Letztlich profitiert auch die Instandhaltung von der digitalen Dokumentation aller Elementpositionen sowie möglicher Abweichungen. Im Falle von Instandhaltungsmaßnahmen kann ein GNSS-basiertes Auffinden der Elemente erfolgen sowie die korrekte Montage innerhalb der Toleranzen nach Austausch effizient zugesichert werden. Auch dieser Prozess kann sich nahtlos digital ankoppeln, sodass für Folgeprojekte eine saubere Bestandsdokumentation vorausgesetzt werden kann. Bei der S-Bahn Berlin wurde dies bereits durch die Nutzung einer einheitlichen Inventarisierungsplattform zur Dokumentation und Instandhaltung erprobt [8].

## 5 Georeferenzierte Koordinaten und sichere Distanzen

Der konventionelle Prozess im LST-Umfeld, insbesondere für positionskritische Elemente, beruht üblicherweise auf der distanzbasierten Ortsbestimmung relativ zu einem Bezugspunkt. Die Distanzen werden geplant, plangeprüft und im Zuge der Umsetzung direkt gemessen, wobei die Sicherheit maßgeblich auf der korrekten Anwendung der Werkzeuge und Prozesse durch die handelnden Personen beruht.

Im georeferenzierten Verfahren hingegen werden zusätzlich Koordinaten aus der Planung abgeleitet und in der realen Infrastruktur zur Standortbestimmung und -prüfung angewandt. Die Verlässlichkeit der Koordinaten ist durch den Menschen nicht direkt gegen eine Distanztoleranz gemäß Richtlinie prüfbar, sondern kann nur durch sichere Werkzeugketten effizient bereitgestellt werden. Dies bedeutet, dass neben dem Menschen die Sicherheit der angewandten Werkzeuge selbst in den Fokus rückt. Dieser Aspekt ist im Übrigen nicht spezifisch für die hier behandelte Änderung, sondern ist vielmehr mit allen Digitalisierungsbemühungen im Umfeld der LST verbunden: Die Belastbarkeit der Qualität des digitalen Datenflusses bestimmt letztlich die formale und gesamthafte Akzeptanz des digitalen Prozesses.

In diesem Bewusstsein hat das Projekt OPAL zur Förderung georeferenzierter und datenzentrierter Prozesse folgende Schritte durchgeführt:

- Sicherheit des werkzeuggestützten Prozesses durch eine Failure Mode Effect Analysis (FMEA)
- Ermittlung der Richtlinienänderungen im Spannungsfeld Vermessung, LST und ETCS
- Erprobung und Spezifikation in mehreren Praxiseinsätzen
- Begutachtung der Dokumentation.

Die wesentlichen Schritte werden im Folgenden vertieft.

### 5.1 Sicherheit im werkzeuggestützten Prozess

Für die Entwicklung eines sicheren, durch Softwarewerkzeuge gestützten Prozesses wird jeder Schritt in einer sogenannten FMEA auf mögliche menschliche oder werkzeugseitige Fehler und deren Auswirkungen auf die Sicherheit bewertet. Dabei werden prozessübergreifende Maßnahmen zur Mitigation von Risiken definiert und zum Teil auch als Annahmen (Anwendungsbedingungen) exportiert. Ziel ist es dabei,

points. Any remaining spot checks can also be GNSS-based and thus accelerated. Again, the question is whether this is undertaken by the inspector himself, who has very limited availability, or by a surveyor.

The telegram test on the track can also be replaced by adding further information to the protocol, such as the balise plate for unique identification in the case of balise installation, provided the supplier assures the appropriate programming for the plate (see also [8]). Further conclusions can also be drawn, e.g. on the correctness of the ETCS engineering, if the procedure is used for all the CCS elements (e.g. also for the reference points of the ETCS equipment). This also has the potential to reduce the number of test cases during time-consuming ETCS acceptance runs.

Finally, maintenance also benefits from the digital documentation of all the element positions and known deviations. In the event of any maintenance work, the elements can be located using the GNSS and correct installation can be efficiently ensured within the tolerances after replacement. This process can also be seamlessly linked digitally, thereby providing clean as-built documentation for subsequent projects. This has already been trialled on the Berlin S-Bahn using a standardised inventory platform for documentation and maintenance [8].

## 5 Georeferenced coordinates and safe distances

The conventional process in the CCS environment, especially for position-critical elements, is typically based on a distance-based measurement relative to a reference point. The distances are planned, checked and measured directly during implementation, meaning that safety is largely based on the correct use of the tools and processes by the people involved.

In the georeferenced method, on the other hand, additional coordinates are also derived from the planning and used in the real infrastructure to determine and check the location. The reliability of the coordinates cannot be directly checked by humans against a distance tolerance in accordance with a guideline, but can only be provided efficiently by reliable toolchains. This means that the focus is not only on the people, but also on the safety of the tools used. Incidentally, this aspect is not specific to the change discussed here, but is rather associated with all the digitalisation efforts in the CCS environment: the reliability of the digital data flow ultimately determines the formal and overall acceptance of the digital process.

With this in mind, the OPAL project has carried out the following steps to promote georeferenced and data-centred processes:

- the safety of the tool-supported process through a Failure Mode Effect Analysis (FMEA)
- the identification of any necessary guideline adaptations, i.e. for surveying and CCS
- testing in several practical applications and specifications
- the independent assessment of the documentation.

The main steps are described in more detail below.

### 5.1 Safety in the tool-supported process

Each step is evaluated with support from software tools in a so-called FMEA for possible human or tool-related errors and their impact on safety to ensure the development of a safe process. Cross-process measures to mitigate risks are defined and, in some cases, also exported as assumptions (application conditions). The aim is to detect or prevent any human or technical errors. A secondary condition also involved avoiding a safety-

menschliche oder technische Fehler zumindest aufzudecken oder Fehler zu vermeiden. Eine Nebenbedingung war zudem, durch geeignete Kombination unterschiedlicher Werkzeuge und prozessualer Maßnahmen eine sicherheitsbezogene Belastung einzelner Werkzeuge in der Kette zu vermeiden. Auf diese Weise wird eine hohe Flexibilität bei der Auswahl von Standardwerkzeugen im Kontext der LST ermöglicht, auch um technologische Weiterentwicklung direkt zu integrieren. Nur einzelne Werkzeuge, wie z. B. ein Prüftool zur Bestätigung der Koordinatenberechnung, erhalten damit eine Klassifikation für Werkzeuge, welche gemäß EN 50716 direkt oder indirekt die Sicherheit beeinflussen [1].

Im Rahmen der Analysen wurde zusammenfassend festgestellt, dass die Sicherheit im Wesentlichen auf drei Ebenen aufbaut (Bild 5):

- Basis der Argumentation sind definierte Annahmen (Anwendungsbedingungen) hinsichtlich bereits heute in den Richtlinien verankerter Vorgaben zur Bestandsdatenqualität der Gleisachsen und Elementstandorte.
- Die sichere Ableitung von Plan-Koordinaten unter Einhaltung der geplanten Bezugspunktdistanz wird über ein unabhängiges Prüftool abgesichert – dessen Ergebnisse entweder durch Zertifizierung des Prüftools entsprechend belastbar sind oder manuell mit den Ergebnissen des Planungswerkzeugs abgeglichen werden.
- Die Basis für die sichere Realisierung der Plan-Koordinaten (Übertragung in die Realität) wird zunächst durch klare Vorgaben zur Installationstoleranz, die für das georeferenzierte Verfahren geeignet sind, geschaffen. Zusätzlich bieten Integritätsschutz über Prüfsummen sowie zweikanalige Verfahren bei der Umsetzung und Prüfung von Datenpunkt-/Balsenstandorten eine Absicherung gegen mögliche Fehler im Prozess.

**5.2 Anpassung der Richtlinien**

Da die DB-Richtlinien der LST (z.B. DB-Richtlinie 819 [2], DB-Richtlinie 892 [3]) maßgeblich auf der Einhaltung von Distanzen bzw. Relativabständen beruhen, ist eine Übertragung der Vorgaben auf das georeferenzierte, koordinatenbasierte Verfahren als Ergänzung erforderlich. Dies betrifft insbesondere die Festlegung der

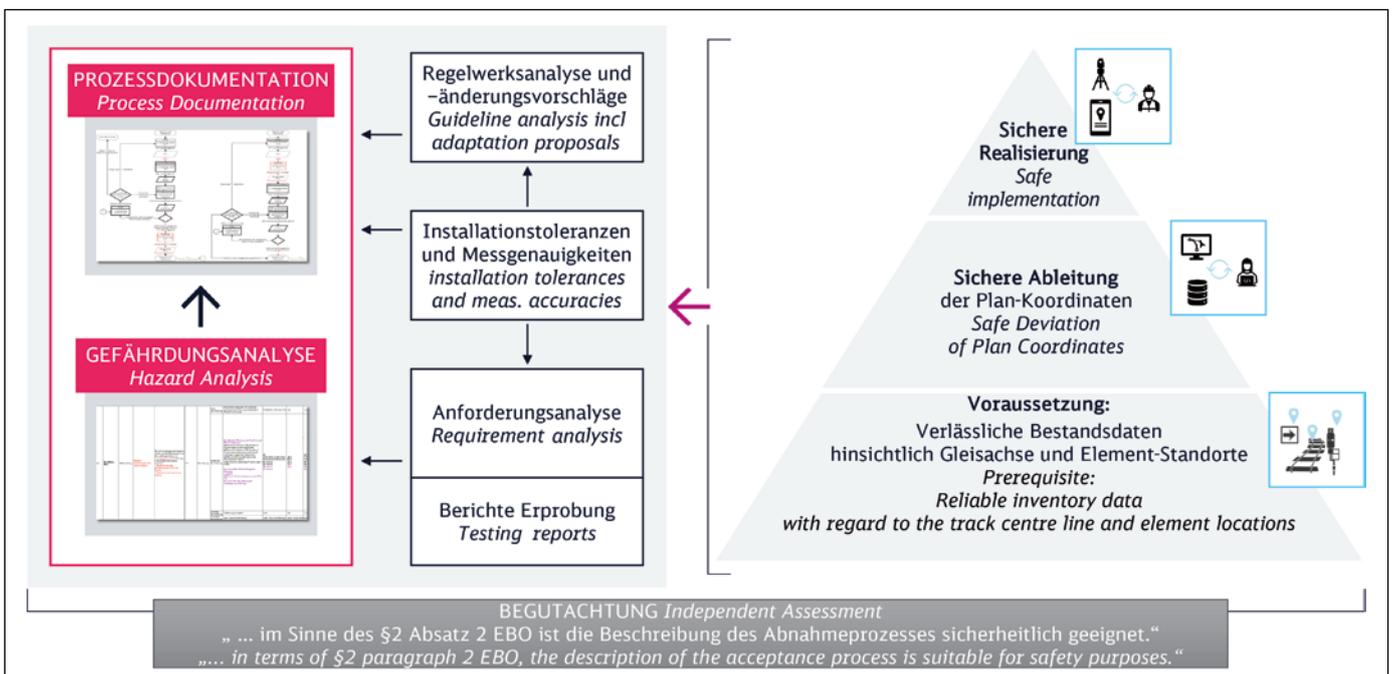
related burdens on any individual tools in the chain by using the appropriate combination of different tools and process-related measures. This approach allows a high degree of flexibility in the selection of (off-the-shelf) tools within the context of CCS and the direct integration of any technological advances. Only a few tools, such as a verification tool for confirming the coordinate calculation, are thus classified as tools that directly or indirectly influence safety in accordance with EN 50716 [1].

It was generally determined as part of the analyses that safety is essentially based on three levels (fig. 5):

- The argumentation is based on defined assumptions (application conditions) with regard to the specifications for the existing data quality of the track axes and element locations which have already been established in the guidelines today.
- An independent verification tool ensures the safe derivation of plan coordinates in compliance with the planned reference point distance. The verification tool's results are either verified by certification or manually compared with the planning tool's results.
- The basis for the safe realisation of the plan coordinates (transfer to reality) is initially created by clear specifications for the installation tolerance suitable for the georeferenced process. In addition, integrity protection via checksums and dual-channel procedures for the realisation and checking of element locations provide protection against any possible faults in the process.

**5.2 Adapting the guidelines**

Given that the DB guidelines for CCS (e.g. DB guideline 819 [2], DB guideline 892 [3]) are largely based on compliance with distances or relative distances, it is necessary to transfer the specifications to the georeferenced, coordinate-based method as a supplement. This especially applies to the definition of the installation tolerance for the CCS elements, i.e. the maximum deviation between the planned or realised location.



**Bild 5: Dokumentenstruktur und Argumentationsebenen für einen sicheren georeferenzierten, digitalen Prozess**

Fig. 5: The document structure and levels of argumentation for a safe georeferenced, digital process

Installationstoleranz für die LST-Elemente, d. h. die maximale Abweichung zwischen geplantem oder realisiertem Standort.

Bei der Ableitung der Vorgaben wurden folgende Randbedingungen formuliert und eingehalten:

- Eine Kompatibilität der neuen Vorgaben mit den konventionellen Verfahren zur Standortbestimmung wird berücksichtigt, indem die funktionalen Vorgaben sowohl mit dem Messrad als auch mit georeferenzierten Messverfahren vergleichbar erfüllt werden – trotz unterschiedlicher Messprinzipien. Beide Messmethoden können im Projekt nebeneinander eingesetzt werden.
- Eine hohe Wirtschaftlichkeit wird bei der Ableitung der Vorgaben erfüllt, indem im Standardfall topographische Messverfahren nach DB-Richtlinie 883 [4, 5] zum Einsatz kommen können. Darüber hinaus ist die Koordinatenbestimmung bereits heute zur Bestandsdatenaktualisierung bei Übergabe an die Instandhaltung (regionales Datenmanagement) am Ende des Projekts (zumindest für Datenpunkte, im Sinne der BIM-Methodik allerdings generell) erforderlich. Insofern wird der Prozess der Koordinatenbestimmung lediglich zeitlich im Projekt vorverlegt und so der Nutzen im Sinne der Wirtschaftlichkeit erhöht.
- Aufbau auf bestehenden Vorgaben zu topografischen und geodätischen Messmethoden aus der DB-Richtlinie 883 [4, 5] wird gewährleistet, indem die dort definierten Vorgaben für den hier betrachteten Anwendungsfall der LST-Erfassung aufgegriffen werden.
- Eine maximale Verständlichkeit und Einfachheit der Vorgaben ist gegeben, indem nur ein minimaler und herstellerunabhängiger Regelsatz als Ergänzung festgelegt wird, welcher generelle Unklarheiten hinsichtlich erforderlicher Messgenauigkeit für ETCS, Automatic Train Operation (ATO) und LST im Allgemeinen beseitigt und den einfachen Rahmen für georeferenzierte Methoden schafft.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen sowie funktionaler Anforderungen positionskritischer Systeme wie ETCS wurde eine Installationstoleranz (inkl. Messfehler und Montagetoleranz) für georeferenzierte Verfahren von  $\pm 1$  m abgeleitet. Da die Toleranz phasenunabhängig gilt, also sowohl für die erste Montage als auch über die Betriebsphase bei jeder Instandhaltungsmaßnahme, wird eine Toleranzaufteilung von  $\pm 0,4$  m für die Montage und  $\pm 0,6$  m für die Instandhaltung empfohlen, um z. B. eine Balise ohne Notwendigkeit einer Projektierungsänderung noch ein Schwellenfach entfernt montieren zu können. Bezüglich der erreichbaren Distanzgenauigkeit bedeutet dies

- a) Anwendungsfall LST allgemein: Die Metergenauigkeit stellt hier bereits durch die heute übliche Positionierung innerhalb der Kilometrierung eine kompatible Größenordnung dar. In kritischen Fällen mit zu garantierenden Mindestabständen sollten entweder Puffer für Montagetoleranz und Messfehler eingeplant werden, oder bei Einzelfällen mit sehr knappen Platzverhältnissen lokale Distanzprüfungen vorgenommen werden.
- b) Anwendungsfall ETCS: In der Regel herrscht vergleichbare Genauigkeit zwischen Datenpunkt und Bezugspunkt, nur im schlechtesten Fall könnte das georeferenzierte Verfahren 15 cm ( $\pm 1,4$  m statt  $\pm 1,25$  m [7]) mehr Ungenauigkeit bedeuten, was jedoch immer noch konform zu den Anforderungen des ETCS-Lastenhefts (LH BTSF) ist. Durch Überprüfung des Bezugspunkts mit geringerer Toleranz als  $\pm 1$  m könnte dies zudem im Bedarfsfall noch reduziert werden.
- c) Anwendungsfall ATO: Aufgrund der hier geforderten Genauigkeit von  $\pm 10$  cm für jedes relevante Infrastrukturelement ist ein geringeres Budget zumindest für die ATO-Projektierung anzu-

The following boundary conditions were formulated and adhered to when deriving the guideline rules:

- The compatibility of the new guideline rules with conventional methods for determining the location is taken into account by ensuring that the functional specifications are comparable with both the measuring wheel and the georeferenced measuring methods, despite them having different measuring principles. Both measurement methods can be used side by side in the project.
- A high level of economic efficiency is achieved by relying on so-called “topographical measurement” methods with lower accuracy requirements in accordance with DB guideline 883 [4, 5]. In addition, the determination of the coordinates is already required today for updating the existing data when it is submitted to maintenance (regional data management) at the end of the project. Thus, the process of determining the coordinates is simply brought forward in the project, thus increasing the benefits in terms of economic efficiency.
- Compliance with existing guidelines for topographical and geodetic measurement methods from DB guideline 883 [4, 5] is assured by adopting the rules defined there for the CCS data acquisition use case considered here.
- The maximum comprehensibility and simplicity of the specifications is ensured by defining only a minimal and manufacturer-independent rule set as a supplement, which eliminates any general ambiguities regarding the required measurement accuracy for ETCS, Automatic Train Operation (ATO) and CCS in general and creates a simple framework for georeferenced methods.

Taking into account the boundary conditions and functional requirements of position-critical systems such as ETCS, an installation tolerance (including measurement error and assembly tolerance) of  $\pm 1$  m has been derived for geographic referenced procedures. A budget allocation of  $\pm 0.4$  m for installation and  $\pm 0.6$  m for maintenance is recommended, e.g. the installation of a balise one sleeper compartment away without the need to change the engineering, as the tolerance applies regardless of the phase, i.e. both for the initial installation and during the operating phase for each maintenance measure. In terms of the achievable distance accuracy, this means

- a) the general CCS application: the “metre accuracy” applied here already represents a compatible order of magnitude due to the positioning within the kilometre scale that is common today. Buffers for installation tolerance and measurement errors should be planned or, in individual cases with very tight space restrictions, local distance checks should be carried out in critical cases where minimum distances need to be guaranteed.
- b) the ETCS use case: generally comparable accuracy between the data point and the reference point, only in the worst case could the georeferenced method mean 15 cm more inaccuracy ( $\pm 1.4$  m instead of  $\pm 1.25$  m [7]), but this is still compliant with the requirements of the ETCS specification (DB InfraGO: Lastenheft BTSF). Checks of the reference point with a lower tolerance than  $\pm 1$  m could also be reduced if necessary.
- c) the ATO use case: the required accuracy of  $\pm 10$  cm for each relevant infrastructure element means that a lower budget should be used, at least for the ATO engineering. As the  $\pm 10$  cm is already equal to the accuracy of a topographical measurement, there are no additional degrees of freedom between “As Built” and “As Planned”, meaning that all the measured values must be transferred directly to the engineering.

The analysis results have been translated into the proposals for specific amendments to the guidelines, which are currently being coordinated with the guidelines’ authors.

setzen. Da die  $\pm 10$  cm bereits durch die Genauigkeit einer topografischen Messung verbraucht werden, existieren keine zusätzlichen Freiheitsgrade zwischen „As Built“ und „As Planned“, sodass sämtliche Messwerte direkt in die Projektierung zu übernehmen sind.

Die Ergebnisse der Analyse wurden in Vorschläge für konkrete Richtlinienanpassungen transferiert und befinden sich in Abstimmung mit den Richtlinienverantwortlichen.

**5.3 Akzeptanz fördern durch Gutachten und Anwendung**

Um die sicherheitsrelevanten LST-Prozesse durch georeferenzierte Verfahren geeignet zu unterstützen, müssen die Methoden praktisch angewendet werden, sodass ein gradueller Übergang von konventionellen Methoden unter iterativer Hebung der Potenziale stattfinden kann. Eine flächige Einführung bedingt jedoch die formale Akzeptanz durch die nachgewiesene Sicherheit des Verfahrens und anwendbare Richtlinien. Das Projekt OPAL hat dazu ein Gutachten über die gesamte Dokumentation erstellen lassen, welches die sicherheitsbezogene Eignung des Prozesses bis zur Abnahme bestätigt.

Darüber hinaus wird die Akzeptanz auf praktische Weise gefördert, indem das Verfahren bereits in mehreren Projekten begleitend eingesetzt wird – parallel zum konventionellen Prozess. Hierbei wurden mögliche Hard- und Softwarekandidaten erfolgreich getestet und wurde deren Eignung bestätigt. Auf Basis der praktischen Erkenntnisse und Gespräche mit Projektbeteiligten (z. B. Bauüberwacher, Abnahmeprüfer) wurden Prozess und technische

**5.3 Promoting acceptance through assessment and application**

The methods must be applied in practice so that a gradual transition from the conventional methods can take place with the iterative utilisation of the potential in order to support the safety-related CCS processes with georeferenced procedures. However, large-scale implementation requires formal acceptance through the proven safety of the method and appropriate guidelines. The OPAL project has commissioned an assessment of the entire documentation, which has confirmed the safety of the process up to the acceptance phase.

In addition, confidence is promoted in a practical way by the fact that the process has already been applied in several projects, i.e. in parallel to the conventional process. Possible hardware and software candidates have been successfully tested and their suitability has been confirmed. The process and technical specifications have been revised based on the practical findings and discussions with the project participants (i.e. construction supervisors, acceptance inspectors). OPAL is continuing along this path and is using the georeferenced process in other CCS projects.

**6 Conclusion**

In addition to the direct benefits (such as loss-free data transfer, automation potential and trade synchronisation), the digital process has additional effects thanks to the georeferenced basis of the digital data. The result is a seamless interlinking

**5** Fachtagung  
**Eisenbahnrecht & Technik**

23. und 24. Juni 2025  
Universität Aachen

Weitere Informationen finden Sie unter  
[www.eurailpress.de/fet2025](http://www.eurailpress.de/fet2025)

Veranstalter: **Eurailpress**

In Zusammenarbeit mit:

- Eisenbahn-Bundesamt
- GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN
- RWTH AACHEN UNIVERSITY
- UNIVERSITÄT PASSAU

**Jetzt anmelden**

Spezifikation überarbeitet. OPAL setzt diesen Weg fort und setzt das georeferenzierte Verfahren in weiteren LST-Projekten ein.

## 6 Fazit

Der digitale Prozess birgt neben den direkten Vorteilen – wie verlustfreie Datenübergabe, Automatisierungspotenzial und Gewerkesynchronisation – zusätzliche Effekte durch die georeferenzierte Basis der digitalen Daten. Es entsteht eine nahtlose Verzahnung von Bestandsdaten, Planungsdaten und Bauinformationen, sodass zu jeder Projektreife die Abweichung zwischen Plan und Realisierung für alle Infrastrukturelemente bekannt und nachvollziehbar dokumentiert ist. Dies schafft eine kontinuierliche Qualitätssicherung bis zur Abnahme im Sinne frühzeitiger Fehlererkennung/-beseitigung sowie die Möglichkeit zur Fokussierung der Abnahmehandlungen auf kritische Elemente. Vollständige und aufwendige Prüfungen aller Infrastrukturelemente im Kontext der Abnahme, sei es durch statische Begehungen oder umfassende Abnahmefahrten, sind durch bereitgestellte Protokolle reduzierbar.

Nachdem die Anwendungsreife und Sicherheit nachgewiesen wurden, wird das Projekt OPAL die georeferenzierten Methoden in weiteren Projekten validieren und somit Wissen und Akzeptanz auch durch praktische Erfahrung bei den Projektbeteiligten fördern. Durch OPAL konnte bereits bestätigt werden, dass Standardlösungen, auch im sicherheitsrelevanten LST-Umfeld, zur Maximierung der Leistungsfähigkeit der LST-Prozesse einsetzbar sind – unter den analysierten Bedingungen und durch Einbettung in den sicheren Prozess. Ein Gutachten zu dem hier beschriebenen Verfahren bestätigt dies. Auf diese Weise lassen sich die für die LST relevanten Relativabstände auch mit georeferenzierten Koordinaten zusichern.

Durch die Hebung aller Potenziale der digitalen Planung können heutige Redundanzen und manuelle Vorgehensweisen in nahtlose und hocheffiziente Prozesse übergeführt werden – ganz im Sinne einer zielgerichteten Beanspruchung der Ressource des Prüf-sachverständigen und maximaler Leistungsfähigkeit der LST-Prozesse. Für den technischen Roll-out wird der Schulterschluss mit anderen Gewerken wie Telekommunikation (TK) gefördert, um einheitliche Lösungen mit entsprechender Synergie bei der DB InfraGO zu schaffen. ■

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] EN 50716 - Railway Applications – Requirements for software development, 2023
- [2] DB RIL 819.1344 A02 – Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2 – Streckenausrüstung nach LH BTSF 3 v3.0, Version 2.1 vom 12.05.2021
- [3] RIL 892.9240 Eurobalisentechnik – Grundsätze, Version 36.0 vom 08.01.2024 (Handbuch 89202)
- [4] DB RIL 883.3100 – Geodätische Fahrbahnmessung; Geodätische Aufnahme, Version 8.0 vom 01.01.2024 (Handbuch 88301)
- [5] DB RIL 883.7100 – Topografische Objekte aufnehmen, Version 8.0 vom 01.01.2024 (Handbuch 88301)
- [6] Lastenheft ETCS – Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3 – (LH BTSF)
- [7] Anlage 2 zur Weisung 02-03-05-02-W-102 – Arbeitsinformationen European Train Control System (ETCS) Level 2 Siemens Trainguard 200 RBC, Rel.  $\geq$  3.3.6 und Rel.  $\leq$  4.0.1, Version 3.0 vom 21.05.2023
- [8] Apel, N.: Teilautomatisierung der Bauüberwachung und Abnahmeprüfung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik am Beispiel der ETCS-Balise, Dissertation, 2024 (<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-898989>)

of existing data, planning data and construction information so that any deviation between the planning and realisation is known and comprehensibly documented for all the infrastructure elements at every stage of the project. This creates continuous quality assurance right up to acceptance in terms of early error detection / elimination, as well as the possibility of focusing the acceptance procedures on critical elements. Complete and time-consuming inspections of all the infrastructure elements within the context of acceptance, be it through static inspections or comprehensive acceptance runs, can be reduced by providing protocols.

Once the application's maturity and safety have been proven, the OPAL project will validate the georeferenced methods in further projects and thus promote knowledge and confidence among the project participants through practical experience. OPAL has already confirmed that standard solutions, even in the safety-relevant CCS environment, can be used to maximise the performance of CCS processes under the analysed conditions and when embedded in a properly defined process. An assessment of the process confirms this. In this way, the relative distances relevant to the CCS functionality can also be assured using georeferenced coordinates.

Today's redundancies and manual procedures can be transformed into seamless and highly efficient processes in the interests of the targeted use of the inspection expert's resources and the maximum efficiency of the CCS processes by realising the full potential of digital planning. Cooperation with other trades, such as telecommunications, will be promoted for the technical rollout in order to create standardised solutions with corresponding synergies at DB InfraGO. ■

## AUTOREN | AUTHORS

### Dr. Volkmar Bachmann

LST Realisierung, Leiter Planungen DSD Projekte /  
*CCS Realisation, Head of Planning DSD Projects*  
 DB InfraGO AG  
 Adresse / Address: Großer Brockhaus 5, D-04103 Leipzig  
 E-Mail: volkmar.bachmann@deutschebahn.com

### Dr. Benedikt Wenzel

Fachbereichsleiter Railway Data / *Head of Railway Data*  
 Nextrail GmbH  
 Adresse / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin  
 E-Mail: benedikt.wenzel@nextrail.com

### Maximilian Braun

Systemingenieur Railway Data / *System Engineer Railway Data*  
 Nextrail GmbH  
 Adresse / Address: Unter den Linden 21, D-10117 Berlin  
 E-Mail: maximilian.braun@nextrail.com

### Jonathan Schwöbel

Ingenieur für Bahnsicherheitstechnik / *Engineer for railway safety technology*  
 CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherheitstechnik GmbH  
 Adresse / Address: Bernhardstraße 77, D-01187 Dresden  
 E-Mail: jonathan.schwoebel@cerss.com

### Stefan Schröder

LST Realisierung, Planungen DSD Projekte, Technische Experten  
 digitales Planen / *CCS realisation, planning DSD projects, technical experts for digital planning*  
 DB InfraGO AG  
 Adresse / Address: Auenweg 7, D-50679 Köln  
 E-Mail: stefan.schroeder@deutschebahn.com



# Hybridveranstaltung 25. Signal+Draht- Kongress

 06. – 07. November 2025,  
Maritim Hotel, Fulda

**JETZT  
ANMELDEN**

Foto: Deutsche Bahn AG/Wolfgang Klee

Weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.eurailpress.de/veranstaltungen](http://www.eurailpress.de/veranstaltungen)



Nutzung unter <https://digitale-schiene-deutschland.de/> mit freundlicher Genehmigung der DVV Media Group, 2025