

# Anforderungen und Lösungen für den regionalen SPNV am Beispiel der Ammertalbahn

## The Ammertalbahn as an example of requirements and solutions for regional public transport by rail

Lutz Gutfreund | Frank von Meissner

Die Anzahl der Betreiber von Nichtbundeseigener Infrastruktur und rollendem Material im öffentlichen Regionalverkehr ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Dementsprechend hat sich auch die Nachfrage nach geeigneten Regionalstellwerken gemäß DB-Vorgaben (ESTW-R) entwickelt, mit denen sich Zugsicherungsaufgaben wirtschaftlich realisieren lassen. Am Beispiel der 1999 reaktivierten und seit 2013 modernisierten Ammertalbahn soll die Entwicklung der dort eingesetzten Leit- und Sicherungstechnik bis hin zur Inbetriebnahme der neuen Regionalstellwerke dargestellt werden (Bild 1).

### 1 Ausgangssituation

Die 21,5 km lange eingleisige Bahnstrecke Tübingen-Herrenberg wurde 1909/10 durch die Königlich Württembergische Staats-Eisenbahnen eröffnet. 1973 stellte die Deutsche Bundesbahn den Betrieb auf dem Streckenabschnitt zwischen Gültstein und Herrenberg ein. Im Personenverkehr wurde die Strecke nur noch von Tübingen bis nach Entringen befahren. Der Güterverkehr wurde noch bis Gültstein durchgeführt.

Nach Initiativen zur Rettung der Strecke wurde eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Wiederaufnahme des Betriebs in Auftrag gegeben, die eindeutig positiv ausfiel. 1995 erfolgte daher die Gründung des kommunalen Zweckverbands ÖPNV im Ammertal (ZÖA), der Ende 1996 die Bahnstrecke von der Deutschen Bahn (DB) übernahm, um sie für den Personenverkehr zu moder-



**Bild 1: Abfahrt eines DB-Regio-Shuttles aus Tübingen West in Richtung Herrenberg**

Fig. 1: DB Regio-Shuttle railcar departing Tübingen West toward Herrenberg

The core of the railway infrastructure in Germany belongs to the Federal Republic of Germany, but there are also numerous other managers of infrastructure and operators of trains, particularly in the field of regional public transport, and their numbers have been increasing rapidly in recent years. This has been accompanied by a growing demand for suitable locally-operated interlocking systems with which it is possible to perform the tasks of train protection economically. These ought also to satisfy the Deutsche Bahn requirements ("ESTW-R"). This report examines an example, that of a railway line called Ammertalbahn, which was reactivated in 1999 and has been operating in its modernised form since 2013. It illustrates the implementation of control, command and safety systems right through to the commissioning of the new regional interlocking units (fig. 1).

### 1 Starting situation

The single-track railway line between Tübingen and Herrenberg has a length of 21.5 km and was opened in 1909/10 by the Königlich Württembergische Staats-Eisenbahnen (Royal Württemberg State Railways). In 1973, the then Deutsche Bundesbahn ceased operations on the section between Gültstein and Herrenberg. Passenger traffic was kept going between Tübingen and Entringen, while freight traffic ran as far as Gültstein.

Various initiatives campaigned for the line to be saved and they prompted the commissioning of an economic feasibility study into its reopening, which came to very positive conclusions. These led in 1995 to the setting up of a special-purpose association of the local-government bodies along the route with the name of ZÖA (Zweckverband ÖPNV im Ammertal). This association took over the railway line from Deutsche Bahn at the end of 1996 with the intention of modernising it for passenger traffic and operating it once again over its entire length between Tübingen and Herrenberg. It made sense to run through as far as Herrenberg, because the Stuttgart S-Bahn also has a terminus there and the rail/bus interchange is an important one in the context of the Greater Stuttgart region (fig. 2).

After extensive renovation of the infrastructure, the line was reopened on 1 August 1999. In addition to refurbishment of existing stops and the creation of additional ones close to new residential and industrial areas, new control, command and safety equipment was installed and technical systems were put in place to enhance the safety of the level crossings. These measures permitted the top speed to be increased to 100 km/h and the train service to become more frequent [1]. The regular operation was

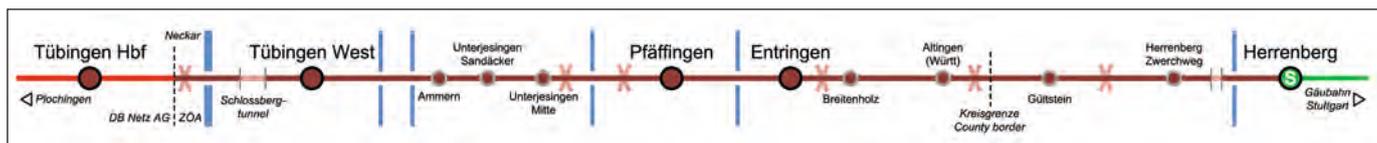


Bild 2: Streckenband der Ammertalbahn

Fig. 2: Ammertalbahn track line

nisieren und wieder durchgehend von Tübingen bis nach Herrenberg zu betreiben. Der Endpunkt Herrenberg bot sich schon deswegen an, weil hier die Stuttgarter S-Bahn ebenfalls ihren Endpunkt hat und ein für die Großregion Stuttgart bedeutsamer Bahn-/Bus-Knoten besteht (Bild 2).

Nach umfassender Erneuerung der Infrastruktur wurde die Bahnstrecke am 1. August 1999 wiedereröffnet. Neben einer Sanierung der bestehenden Haltepunkte und der Errichtung zusätzlicher Haltepunkte an neuen Siedlungs- oder Gewerbegebieten wurden eine neue Leit- und Sicherungstechnik eingerichtet und die Bahnübergänge technisch gesichert. Dadurch konnte die Höchstgeschwindigkeit auf bis zu 100 km/h erhöht und die Zugfolge verdichtet werden [1]. 1999 wurde der reguläre Betrieb mit Dieseltriebwagen der Baureihe 650 „Regio-Shuttle“ aufgenommen. Der Fahrplan sieht heute überwiegend einen durchgehenden Halbstundentakt mit Systemkreuzung in Entringen vor, der durch Schülerzüge ergänzt wird. Der Zweckverband fungiert sowohl als Aufgabenträger und Besteller der Zugverkehrsleistungen als auch als Eisenbahninfrastrukturunternehmen. Es kommen die Vorschriften für Nichtbundeseigene Eisenbahnen (NE-Regelwerk) zur Anwendung, so z. B. die Fahrdienstvorschrift für NE-Bahnen (FV NE) für den Betrieb oder z. B. die VDV-Schriften 332 und 334 für Planung und Zulassung von Signalanlagen. Die Instandhaltung der Infrastruktur wurde an die DB Netz AG vergeben, die sich im Allgemeinen an das DB-Regelwerk anlehnt.

## 2 Betriebliche Anforderungen

### 2.1 Betriebsführung ab 1999

Bei der Wiederaufnahme des Betriebs auf der Ammertalbahn ging man von maximal 4500 Fahrgästen pro Werktag aus. Dementsprechend war als Betriebsverfahren der Zugleitbetrieb gemäß FV NE gewählt worden, wobei auf Zuglaufmeldungen verzichtet und der Verkehr signaltechnisch durch Ein- und Ausfahrtsignale in den Kreuzungsbahnhöfen gesichert wurde (Leit- und Sicherungstechnik vom Typ SIEMENS SICAS S5).

Es wurden lediglich mechanische Rückfallweichen eingesetzt, d. h. auch ohne Zugkreuzung passierten die Züge ggf. den abzweigenden Strang. Daher betrug die zulässige Geschwindigkeit ab der Weichenspitze der Kreuzungsbahnhöfe nur maximal 40 km/h. Der Durchrutschweg hinter den Hauptsignalen betrug 50 m.

Die Strecke wurde mit selbsttätigem Streckenblock ausgestattet, wobei ein Blockabschnitt von Ausfahrtsignal eines Bahnhofs bis zur Einfahrweiche des nächsten Bahnhofs reichte. Die Gleisfreimeldung für Bahnhofs- und Streckengleise erfolgte durch Achszähler.

Die Zugleitstrecke wurde durch den Zugleiter auf dem DB-Stellwerk „Tf“ in Tübingen Hbf bedient. Es war durchgängiger Zugbetrieb mit einer Streckengeschwindigkeit von 100 km/h eingerichtet.

Alle Signale wurden im Selbststellbetrieb gesteuert. In den Kreuzungsbahnhöfen waren noch Schleifen für eine flüssigere Betriebsabwicklung vorhanden. Die Züge forderten die Fahrstraße

started with class-650 “Regio Shuttle” diesel railcars. At the time of writing, the basic timetable offers a half-hourly service over the entire line with scheduled crossings in Entringen and additional trains for schoolchildren. The special-purpose association acts as both the public transport authority and purchaser of services and the infrastructure manager. The line is subject to the regulations applicable to railways not managed by the Federal Republic of Germany. This include, for instance, the “FV NE” operational regulations and the VDV Documents 332 and 334, while deal with the planning and approval of signalling installations. Infrastructure maintenance has been entrusted to DB Netz and is generally in line with Deutsche Bahn’s practice.

## 2 Operational requirements

### 2.1 Management of operations since 1999

At the time operations were resumed on the Ammertalbahn, the assumption was that the maximum number of passengers on a normal weekday would be 4500. That being so, it was decided to operate the line in accordance with one of the modes permitted by the “FV NE” regulations called “Zugleitbetrieb” (train control operation). Train run reports were regarded as unnecessary and at the stations with passing tracks, train movements were to be protected by entry and departure signals under the control of SICAS S5 equipment from Siemens.

Purely mechanical resetting trailable points were installed throughout, which meant that trains were forced to take the turnout track even if there was no other train to pass. They thus had to slow down to a maximum speed of 40 km/h by the time they ran onto the point tip in the stations with passing tracks. The overlap after the main signals was 50 m.

The line was equipped with an automatic absolute block, and the block section was comprised of the distance between the departure signal from one station and the entry points to the next one. Vacancy detection for station and open tracks was by means of axle counting circuits.

Operating the line was the responsibility of the traffic controller in the Deutsche Bahn “Tf” interlocking unit in Tübingen Hauptbahnhof. Continuous train operation was established at up to the line’s maximum permitted speed of 100 km/h.

All signals were controlled by automatic route setting. Stations with passing tracks were fitted out with receiver loops to ensure a smoother operation. Trains requested their routes through the contacts placed ahead of the passing stations. The traffic controller was able to lock and unlock the entry and departure signals. Alternatively, it was possible to enable and disable the automatic route setting function on all departure signals.

In Tübingen, the line joins up with the Deutsche Bahn network, whereas at its Herrenberg end protection equipment keeps it separate from the Deutsche Bahn network and it terminates in a separate bay. Should the need arise, it is possible to shunt trains to the DB network in Herrenberg over locally operated points protected with a key lock. In addition to this, passing sidings for

über die vor den Kreuzungsbahnhöfen liegenden Kontakte an. Ein- und Ausfahrtsignale konnten vom Zugleiter gesperrt und entsperrt bzw. an allen Ausfahrtsignalen der Selbststellbetrieb ein- oder ausgeschaltet werden.

In Tübingen mündet die Strecke in das DB-Streckennetz, am Endpunkt Herrenberg ist die Strecke sicherungstechnisch vom DB-Streckennetz getrennt und endet an einem isolierten Stumpfgleis. Es besteht in Herrenberg hilfsweise die Möglichkeit, über ortsbediente Weiche mit Schlüsselsperre Züge auf das DB-Streckennetz übergehen zu lassen. Des Weiteren wurden Ausweichanschlussstellen mit Schlüsselsperren und ortsbedienten Weichen für den Güterverkehr in Pfäffingen und Gültstein angelegt.

## 2.2 Neues Betriebsverfahren auf Grund steigender Anforderungen

Die oben erwähnten prognostizierten Fahrgastzahlen, die bei der Dimensionierung der Infrastruktur zu Grunde gelegt worden waren, wurden bereits im ersten Betriebsjahr überschritten und 2009 wurden über 8000 Fahrgäste täglich gezählt. Diese hohe Nachfrage bei weiter steigenden Fahrgastzahlen machte mehrfache Fahrplan- und Kapazitätserweiterungen erforderlich. Durch steigende Fahrgastwechselzeiten ergaben sich immer wieder Verzögerungen und Probleme mit der Betriebsqualität.

Dieser Zustand sowie die Abkündigung der Ersatzteile durch den Signaltechnik-Hersteller führten zu Überlegungen, die Leistungsfähigkeit der Strecke durch ein moderneres Stellwerkssystem zu steigern. Wegen der steigenden betrieblichen Anforderungen war zunächst eine Grundsatzentscheidung bezüglich des künftigen Betriebsverfahrens für die Ammertalbahn zu treffen [2]. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) gibt in seiner VDV-Schrift 752 aus dem Jahr 2004 eine „Empfehlung zur Auswahl geeigneter Betriebsverfahren für eingleisige Eisenbahnstrecken“ in Form einer Punktebewertung auf Grund der durchschnittlichen und maximalen Belastung [3]. Das so ermittelte Betriebsverfahren soll ein dem „Stand der Technik entsprechenden Sicherheitsniveau bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung des Eisenbahnbetriebs“ gewährleisten.

Hierzu wurde zunächst ein Belastungsprofil (schwach, mäßig oder stark) ermittelt und auf dieser Grundlage eine Empfehlung für das Betriebsverfahren ausgesprochen. In das Belastungsprofil fließen die Parameter Infrastruktur, Fahrzeuge, Betriebsabwicklung und Personalbelastung mit ein. Für die Einteilung in die Belastungsprofile gelten folgende Punktwerte:

- Bis zu 10000 Punkten: Schwaches Belastungsprofil. Als Betriebsverfahren sind hier ein Taktfahrplan mit festen Kreuzungspunkten, der Zugleitbetrieb und der Zugmeldebetrieb geeignet.
- Zwischen 8000 und 20000 Punkten: Mäßiges Belastungsprofil. Als geeignetes Betriebsverfahren wird der Signalisierte Zugleitbetrieb (SZB) vorgeschlagen.
- Über 18000 Punkte: Starkes Belastungsprofil: Als geeignetes Betriebsverfahren sollte zusätzlich zum gewählten Betriebsverfahren der voll signalisierte Streckenblock vorgesehen werden.

Bei der Überprüfung der Ammertalbahn wurden mit täglich bis zu 82 Zügen und zahlreichen Kreuzungen an verschiedenen Bahnhöfen über 18000 Punkte erreicht. Wegen der Überlegungen für weitere Angebotsausweitungen mit entsprechend höherer Belastung fiel daher die Entscheidung für den Zugmeldebetrieb mit Signalisierung und Streckenblock.

## 2.3 Erneuerung der Leit- und Sicherungstechnik

Auf Basis dieser Grundsatzentscheidung für die Umstellung vom signalisierten Zugleitbetrieb auf Zugmeldebetrieb erfolgte die

freight trains with key-locked, locally operated points were set up in Pfäffingen and Gültstein.

## 2.2 New operating method to cope with tougher demands

The forecast passenger numbers referred to above, which were used as the basis for dimensioning the infrastructure, were already exceeded in the first year of operation, and in 2009 more than 8000 passengers a day were counted. This lively demand and further-increasing passenger numbers necessitated several timetable additions and capacity expansions. Passenger transfer times were getting longer, which repeatedly caused delays and problems with operational quality.

This situation and the announcement by the signal manufacturer that it was discontinuing from supplying spare parts prompted thinking about improving the line's performance with a modern interlocking system. Given the increasingly stringent demands that the operation had to meet, the first step was to take a fundamental decision on what operating method was going to apply on the Ammertalbahn in future [2]. In 2004, the VDV (Association of German Transport Companies) issued its Document 752 containing a "recommendation regarding the choice of suitable operating procedures for single-track railway lines". It proposed a scoring method based on mean and maximum traffic loads [3]. The operating procedure determined in this way was to guarantee "a state-of-the-art safety level and at the same time increased efficiency of the railway operation".

The first step in this calculation is to work out a load profile (low, medium or high) and to use that as the basis for recommending an operating procedure. The input parameters for computing the load profile are infrastructure, vehicles, work flows and staff workload. The following scores correspond to various load profiles:

- Up to 10000 points: low load profile. Suitable operating procedures might be synchronised timetable with fixed passing points, a train control operation ("Zugleitbetrieb") and train reporting operation ("Zugmeldebetrieb")
- Between 8000 and 20000 points: medium load profile. The proposed operating procedure is a signalised train control operation ("Signalisierter Zugleitbetrieb").
- More than 18000 points: high load profile. In addition to the chosen operating procedure, it is highly recommended that fully signalled section blocks be installed as well.

The examination of the Ammertalbahn revealed it to have up to 82 trains a day and numerous crossings at different stations, giving it a score of greater than 18000 points. In the light of the ongoing considerations to increase the number of trains, thereby increasing the traffic load, it was decided to opt for a train reporting operation ("Zugmeldebetrieb") with full signalling and section blocks.

## 2.3 Renewal of the control, command and safety systems

Having taken this basic decision to convert the line from signalised train control to a train reporting operation, the next step was to produce a concept for the control, command and safety systems, which were to satisfy the following premises:

- The overall system ought at least to comply with safety integrity level SIL 3 as specified in DIN EN 50126;
- Introduction of a new electronic interlocking system with section blocks and retrofitting the signals in passing stations with distant and home signals on entry and departure tracks and the addition of switchable speed indicators and substitute signals;

Konzeption der Leit- und Sicherungstechnik unter folgenden Prämissen:

- Das Gesamtsystem soll mindestens die Sicherheitsstufe SIL 3 nach DIN EN 50126 erfüllen.
- Errichtung eines neuen elektronischen Stellwerks mit Streckenblock und Aufrüstung der Signalisierung der Kreuzungsbahnhöfe mit Vor- und Hauptsignalen an Ein- und Ausfahrten, Ausrüstung mit schaltbaren Geschwindigkeitsanzeigern sowie Ersatzsignalen.
- Umstellung des Signalsystems von H/V- auf Ks-Signalsystem.
- Ersatz der Rückfallweichen durch Weichen mit ferngesteuerten elektrischen Antrieben in den Kreuzungsbahnhöfen Tübingen West, Pfäffingen und Entringen: Dadurch konnte der bisherige Richtungsbetrieb entfallen und es kann mit 70 km/h (statt bisher 40 km/h) ein- und ausgefahren werden.
- Nachrüstung von signalabhängigen Halbschranken mit Lichtzeichen zur Sicherung der Reisendenüberwege zu den Mittelbahnsteigen in den Kreuzungsbahnhöfen.
- Umstellung der vom Lokführer überwachten Bahnübergänge in den Bahnhöfen auf signalabhängige Hp-Technik.
- Einbindung der Schlüsselsperren in Herrenberg und Pfäffingen in das jeweilige Stellwerk.
- Erneuerung der Bedienplätze im DB-Stellwerk „Tf“ in Tübingen Hbf und Erweiterung um einen Notbedienplatz im Technikgebäude in Tübingen West.

Auf dieser Basis erfolgte 2013 die Ausschreibung der Leit- und Sicherungstechnik. Den Auftrag erhielt schließlich BBR Verkehrstechnik GmbH aus Braunschweig.

### 3 Technische Realisierung

#### 3.1 Aufbau

Die Strecke Tübingen Hbf - Herrenberg ist in vier Zugmeldestellen mit dazwischen liegenden eingleisigen Streckenabschnitten unterteilt: Tübingen West (TTW), Pfäffingen (TPG), Entringen (TENT) und Herrenberg (THE). In jedem Bahnhof befindet sich ein Stellwerk, das die jeweilige Zugmeldestelle mit Einfahrsignalen, Vorsignalen und Ausfahrtsignalen abdeckt. In Tübingen Hbf (TT) laufen im dortigen Stellwerksgebäude der DB Netz AG die Fäden zusammen: Ein Glasfasernetzwerk bindet die Bedieneinrichtungen der Fahrdienstleiter Tübingen (Tf) an die anderen Stellwerke an. Zum Einsatz kommt eine modulare Lösung, die im Stellwerkskern die Sicherungsfunktionen nach DIN EN 50126 bis SIL 4 erfüllt [4]. Zusätzlich ist der Rechnerkern – bestehend aus einem 2v2-System mit proprietärer Software – in jedem Stellwerk zweifach vorhanden, so dass im Störfall binnen kürzester Zeit (ca. 2 min) ein Ersatzsystem betriebsbereit ist. Obwohl diese Lösung technisch nicht sehr aufwendig und recht preiswert ist, konnte so die Verfügbarkeit der Gesamtanlage signifikant gesteigert werden. Hinsichtlich ihrer Systemarchitektur umfasst das Stellwerkssystem sowohl eine Sicherheitsebene mit Stellwerkskern, als auch eine Leitebene, auf der außer der sicheren Zustandsanzeige des überwachten Gleisbereichs keine weiteren Funktionen mit Sicherheitsverantwortung vorgesehen sind. Den Stellwerksebenen nachgeordnet sind deren jeweilige Elemente in der Außenanlage (Bild 3).

#### 3.2 Sicherheitsebene

Auf der Sicherheitsebene sind alle Funktionen mit Sicherheitsverantwortung angesiedelt. Dabei bildet ein sogenannter Fahrwegrechner den eigentlichen Stellwerkskern. Mit diesem Fahrwegrechner verbunden sind weitere 2v2-Funktionsmodule (Doppelrechner mit nachgeordneten Funktionsbaugruppen), welche di-

- Switchover from a home + distant system of signalling (“H/V”) to combination signals (“Ks”);
- Replacement of the resetting trailable points with points having remote-controlled electric drives in the passing stations of Tübingen West, Pfäffingen and Entringen. That made it possible to eliminate the existing restrictions of tracks being usable in one direction only. Trains can now enter and leave stations at 70 km/h (instead of the previous 40 km/h);
- Retrofitting of signal-dependent half-barriers with warning lights to protect the level crossings for passengers moving to and from the centre platforms at the passing stations;
- Conversion of the level crossings in the stations from being operated by train drivers to a system linked to home signals (“Hp system”);
- Integration of the key locks at Herrenberg and Pfäffingen in those stations’ interlocking units; and
- Upgrading the operator consoles in the Deutsche Bahn “Tf” signal box at Tübingen Hauptbahnhof and addition of an auxiliary operator console in the technical building in Tübingen West.

This was the basis on which the call for tenders for the control, command and safety systems was launched in 2013. In the end, the contract was awarded to BBR Verkehrstechnik GmbH of Braunschweig.

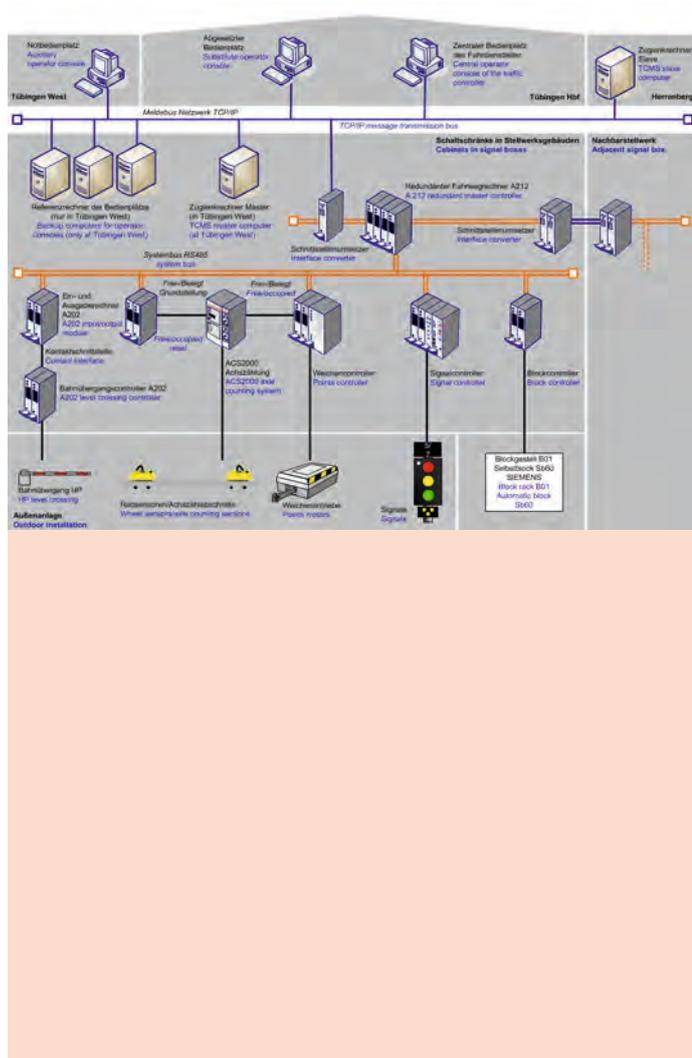
### 3 Technical implementation

#### 3.1 Setup

The line between Tübingen Hauptbahnhof and Herrenberg is subdivided by four train reporting points with single-track sections between them: Tübingen West (TTW), Pfäffingen (TPG), Entringen (TENT) and Herrenberg (THE). Each station is equipped with an interlocking unit, which covers the train reporting point, including its home (entry and departure) and distant signals. All lines of command converge on the DB Netz signal box in Tübingen Hauptbahnhof. A fibre-optic network connects the traffic controller’s control devices in Tübingen (Tf) with the other interlocking units. The solution implemented is a modular one, and its safety functions in the interlocking core comply with SIL 4 as specified in DIN EN 50126 [4]. In addition to that, there is a computer core (consisting of a 2-out-of-2 system with proprietary software) present in duplicate in every interlocking unit, so that in the event of a breakdown a backup system is operable within a very short period of time (approximately two minutes). Despite the fact that this solution is neither really sophisticated nor expensive, it brought about a significant increase in the availability of the installation as a whole. As far as its system architecture is concerned, the interlocking system includes both a safety level with the interlocking core, and a control and display level, which does not provide any safety-critical functions apart from a fail-safe display of the state of the monitored track section. The individual field elements are arranged to match these interlocking levels (fig. 3).

#### 3.2 Safety level

All functions with safety responsibility are allocated to the safety level. The actual interlocking core is comprised of a so-called “route controller” (or “Fahrwegrechner”). It is linked with further 2-out-of-2 functional modules (double controllers with their functional subassemblies), which directly operate and monitor the field elements. BBR relies on the proven PHI concept for the safe technical monitoring of all connected sys-



**Bild 3: Gesamtkonzept der Leit- und Sicherungstechnik für die Ammertalbahn**  
 Fig. 3: General concept of the Ammertalbahn interlocking technique

rekt die Elemente der Außenanlage ansteuern und überwachen. Zur signaltechnisch sicheren Überwachung aller angeschlossenen Systembestandteile setzt BBR auf das bewährte PHI-Konzept, bei dem zwei 180° zueinander phasenverschobene 24V Gleichspannungsrechtecksignale (PHI1, PHI2) mittels zweier Referenzsignale (PHI1R, PHI2R) durch die Rechnersysteme ausgewertet werden. In einem ersten Schritt wird zunächst auf ein plausibles Signal geprüft, um in einem zweiten Schritt das erkannte Signal einem Referenzsignal zuzuordnen. Damit lassen sich auf einfache Weise zwei Zustände eindeutig unterscheiden. Durch geschickte Verschaltung der Außenanlagen können sogar Relaiskontakte von Systemen anderer Hersteller (beispielsweise von Pintsch Bamag BÜP93-Bahnübergangssicherungsanlagen) sicher ausgelesen werden. So wird auch die Anpassschaltung an den SIEMENS Sb60-Streckenblock zwischen Tübingen Hbf (TT) und Tübingen West (TTW) in Melderichtung mittels Durchschleifung des PHI-Signals über Relaiskontakte in TTW erreicht. Die Befehlsrichtung wurde durch Reihenschaltung von Relais mittels 60 V realisiert. Im Kern der BBR-Regionalstellwerke sind Funktionen realisiert, die nach Anforderungen des betrieblichen und technischen Lastenhefts für elektronische Stellwerke Regional (ESTW-R) [5] der DB AG entwickelt wurden. Dieses Lastenheft sieht einen reduzierten Funktionsumfang speziell für Regionalstrecken vor. Teilweise wur-

tem components. This concept uses two 24V DC square-wave signals shifted by 180° relative to one another (PHI1, PHI2), which are interpreted by the computer systems by comparing them with two reference signals (PHI1R, PHI2R). The first step checks for the presence of a plausible signal, and the second step assigns the recognised signal to a reference signal. This is a simple way of clearly distinguishing between two different states. If the field elements are wired up skilfully, it is even possible to read off the relay contacts of systems from other manufacturers dependably (such as Pintsch Bamag BÜP93 level crossing protection systems). This technique is also used, for instance, to fit in the Siemens Sb60 section block between Tübingen Hauptbahnhof (TT) and Tübingen West (TTW), specifically by switching the PHI signal straight through the relay contacts in TTW in the feedback direction. The command direction is realised by the serial switching of relays at 60 V. The core of the BBR regional interlocking system implements functions which have been developed in accordance with Deutsche Bahn's operational and technical specifications for regional electronic interlocking units ("ESTW-R") [5]. These specifications make provision for a reduced range of functions especially for regional traffic. In the case in point, the ESTW-R requirements have, however, been partly exceeded, in that they

de allerdings über die Anforderungen des ESTW-R hinausgegangen, da das Lastenheft hier keine Anschaltung der Ersatzsignale vorsieht, sondern lediglich eine Befehlsbedienung als Hilfsmittel für die Ausstellung eines fernmündlichen Befehls (Bild 4).

Die eingleisigen Streckenabschnitte sind nicht mit herkömmlichen Blocksicherungseinrichtungen versehen, sondern die Stellwerke tauschen mittels einer Softwareschnittstelle Zustände miteinander aus. Auf diesem Wege verarbeiten die einzelnen Bereichsfahrwegrechner Erlaubnisanfragen und Zustimmungen als Logikelemente.

### 3.3 Leitebene

Die Leitebene trägt zwar grundsätzlich keine Sicherheitsverantwortung, die Anzeigen sind aber dennoch mit einem Bildvergleichsverfahren ausgerüstet, das die Eignung nach DIN EN 50126 [6] bis SIL 2 besitzt. Das sichere Bedienen wird dabei durch die Sicherheitsebene und nicht durch die Leitebene verwaltet.

Die Leitebene wird von einem zentralen Rechnersystem aus gestützt, das einen Redundanzbetrieb im Hot Standby zulässt. Auf dem Rechnersystem läuft neben der eigentlichen Anzeige des Stellbezirkes für den Fahrdienstleiter auch eine Zugnummernmeldeanlage. Diese holt sich Informationen aus der Belegungsfolge der Achszählabschnitte und kann somit nicht nur die Zugnummer formtellen, sondern auch richtungsabhängig Operationsanstoßpunkte bedienen, damit Fahrstraßen zeitgerecht einlaufen. Darauf aufgesetzt ist ein Zuglenkrechner, der anhand einer vorgestellten Zuglenk- und Zugkreuzungsziffer jedem Zug einen eigenen Fahrweg durch das Netz zuordnen kann. Hinterlegt ist nicht nur das Fahrziel, sondern auch das jeweilige Gleis, das in den Durchgangsbahnhöfen befahren werden soll.

Die Zugkreuzungsziffer definiert für jeden Zug einen individuellen Kreuzungsbahnhof, auf dem der Zug bis zur Einfahrt des Gegenzuges festgehalten wird. Ein zusätzliches Bedienfeld auf der Anzeige bietet dem Fahrdienstleiter die Möglichkeit, ohne Änderung der Zugkreuzungsziffer im Verspätungsfall eine Kreuzung einfach und schnell zu verlegen. Diese einzelnen Teilfunktionen werden zu einer vollautomatischen Betriebsführung zusammengefasst, bei der der Bediener im Regelfall nicht eingreifen muss. Lediglich die mündliche Zugmeldung muss noch erledigt werden, da es zwischen Tübingen Hbf und dem Streckenbereich der Ammertalbahn noch keine Verbindung des Zuglaufverfolgungsbuss (ZLV) gibt. Technisch ist die Anlage allerdings vorgerüstet, so dass lediglich die Anschaltung noch implementiert werden müsste. Zum jetzigen Zeitpunkt werden die Zugnummern aus dem Fahrplan generiert und dem Fahrdienstleiter angeboten. Erst wenn dieser die Zugnummer annimmt, beginnt die Zuglenkung mit der Betriebsführung.

Eine zentrale Vorgabe war die Umstellung des Betriebsverfahrens von Zugleitbetrieb auf Zugmeldebetrieb. Dazu wurde ein elektronischer Zugnummernschreiber integriert, der alle an- und abfahrenden Züge an den jeweiligen Zugmeldestellen TTW, TPG, TENT und THE protokolliert. Ein zentraler Datenknoten sorgt für eine nachweisbar sichere Speicherung der Daten des Zugnummernschreibers, des Betriebstagebuchs und des Störmeldeservers. Diesem Datenknoten sind ein Drucker und ein M-DVD-Brenner als Peripherie zugeordnet. Die M-DVD wurde ursprünglich für medizinische Daten entwickelt und garantiert eine Lebensdauer der Daten für mindestens zehn Jahre. So können die Betriebsleiter jederzeit Daten elektronisch oder in Papierform sichern und gerichtsfest archivieren.

### 3.4 Außenanlage

Für die neu zu errichtenden Signale wurde eine auf Nebenbahnen übliche Lichtpunkthöhe von 4 m gewählt. Es kommen LED-



**Bild 4: Stellwerksschränke in Tübingen West**

Fig. 4: Interlocking cabinets at Tübingen West

do not envisage the inclusion of substitute signals, but merely an operator intervention as an auxiliary means for issuing orders by telephone (Fig. 4).

The single-track sections do not have conventional block-section equipment, instead of which the interlocking units exchange states with one another through a software interface. In this way, the particular section route controllers handle movement-authority requests and approvals as logic elements.

### 3.3 Control and display level

Although the control and display level has no fundamental safety responsibility, its displays are, nonetheless, equipped with an image comparison procedure that has been approved for operations up to SIL 2 as specified in DIN EN 50126 [6]. Safe operation is thus not managed by the control and display level, but by the safety level.

The control and display level runs on a central computer system capable of redundant hot-standby operation. This computer system displays not only the overview of the area controlled by the traffic controller but also a train describer system. The latter collects information from the occupancy sequence of the axle counting circuits and can thus not only forward the train number, but also trigger receiver devices dependent on the direction of traffic, so that routes are set in good time. Superimposed on this is a train control and monitoring system, which assigns every train a predetermined individual train control and crossing number valid throughout the network. It is not only the destina-



**Bild 5: Einfahr-Vorsignal mit Geschwindigkeitsanzeiger vor Entringen**  
 Fig. 5: Home distant signal and speed indicator ahead of Entringen

Matrix-Signaloptiken zum Einsatz, deren Gehäuse nach hinten zu öffnen sind, damit eventuell anfallende Wartungsarbeiten oder Entstörung während des laufenden Betriebes einfach durchgeführt werden können. Die Signale selbst stellen eine Weiterentwicklung der eigensicheren Optiken dar, die ursprünglich als Standalone-Lösung für die Anbindung an Relaisstellwerke entwickelt worden sind [7]. Zur Begutachtung kam in diesem Rahmen ein kompletter Ks-Signalstandort, das BBR KS4000. Dieses implementiert bestehende und begutachtete Schnittstellen sowie weitere Komponenten zu einem Teilsystem, das in Stellwerkssystemen bis SIL 4 nach DIN EN 50126 eingesetzt werden kann [8]. Die Optiken haben einen Durchmesser von 136 mm sowie kleinere Optiken von 70 mm für Kennlicht und die Ersatzsignalbegriffe Zs1 und Zs7. Die Eigensicherheit der Optiken besteht darin, dass jede einzelne LED überwacht wird. Die Anzahl der LED, die bis zur Abschaltung des Signalbegriffs und dessen Wechsel in den Stöorzustand ausfallen dürfen, kann anlagenspezifisch projektiert werden.

Der eingesetzte Matrixsignalgeber für die Signalisierung der Geschwindigkeitsbegriffe besteht aus Lichtpunkten mit je vier LED. Sie garantieren Tragweiten, die weit über die für Nebenbahnen bis 100 km/h geforderte Werte hinausgehen. Jede Matrix kann bis zu zehn verschiedene Signalbegriffe anzeigen (Bild 5).

Für den Umbau der Weichen von mechanischen Rückholfedern auf elektrische Antriebe entschied man sich für den Typ AH950 von Voestalpine. Die Verschlüsse wurden ebenfalls getauscht, da ein moderner Klinkenverschluss CKA 12 gefordert war. Geschaltet werden die Antriebe in Standard-Vierdraht-Technik.

Für die Gleisfreimeldung wurde von Frauscher das Achszählssystem ACS2000 geliefert. Das System mit seinen bewährten Kom-

ponenten, die gespeichert sind, aber auch die einzelnen Gleise, die geplant sind, zu verwenden.

Die Zugnummer definiert eine individuelle Durchlaufstation für jeden Zug, an der er gehalten wird, bis der Zug in die andere Richtung fährt. Im Falle einer Verzögerung, eine zusätzliche Steuerung der Station gibt dem Verkehrsleiter die Möglichkeit, den Durchlaufpunkt schnell und einfach zu verschieben, ohne die Zugnummer ändern zu müssen. Diese einzelnen Unterfunktionen sind in einer vollständig automatisierten Operation nicht normalerweise bedürftig. Es ist nur die mündliche Ankündigung des Zuges, die noch durchgeführt werden muss, da der Zugverfolgungsbus („Zuglaufverfolgungsbus ZLV-Bus“) noch nicht zwischen Tübingen Hauptbahnhof und dem Netz der Ammertalbahn. Die technischen Vorbereitungen für die Installation haben, jedoch, bereits gemacht, so dass es nur noch verbunden werden muss. Für die Zeit, die die Zugnummer aus dem Fahrplan und vorgeschlagen wird dem Verkehrsleiter. Es ist nur, wenn der Verkehrsleiter diese Nummer akzeptiert, dass die Zugsteuerung beginnt.

Ein zentrales Erfordernis war die Umwandlung des Betriebsverfahrens von Zugsteuerung zu Zugberichterstattung. Zu diesem Zweck wurde ein elektronischer Zugnummerenspeicher installiert und er protokolliert alle ankommenden und abgehenden Züge an den einzelnen Berichterstattungsstellen: TTW, TPG, TENT und THE. Ein zentrales Datenhub hält eine fälschungssichere, fehlerfreie Aufzeichnung der Daten vom Zugnummerenspeicher, dem Betriebsjournal und dem Fehlermeldeserver. Dieses Datenhub hat einen Drucker und einen M-DVD-Writer angeschlossen als Peripherie. Der M-DVD wurde ursprünglich für medizinische Zwecke entwickelt und ist garantiert für mindestens zehn Jahre. Die Verkehrsleiter können die Daten elektronisch oder als Ausdruck und archivieren in einer Weise, die vor Gericht standhalten würde.

### 3.4 Field devices

Ein Signalaspekt einer Höhe von 4 m wurde für die neuen Signale, wie es üblich ist auf Nebenbahnen. Die LED-Signalmatrizen sind in Gehäusen mit Rücköffnungen, was die Durchführung aller notwendigen Wartungs- oder Reparaturarbeiten ohne Unterbrechung des Bahnbetriebs ermöglicht. Die Signale selbst stellen eine Weiterentwicklung der intrinsisch sicheren Optiken dar, die ursprünglich als Standalone-Lösung für die Anbindung an Relaisstellwerke entwickelt wurden sind [7]. In diesem Zusammenhang wurde eine vollständige BBR KS4000-Kombination („Ks“) für die Signalisierung überprüft. Dies implementiert bestehende und genehmigte Schnittstellen sowie weitere Komponenten für ein Teilsystem, das in Relaisstellwerken bis SIL 4 nach DIN EN 50126 eingesetzt werden kann [8]. Die Hauptoptiken haben einen Durchmesser von 136 mm, während 70 mm Optiken für Kennlichter und die Zs1- und Zs7-Aspekte der Ersatzsignale verwendet werden. Die intrinsische Sicherheit der Optiken wird durch die Überwachung jedes einzelnen LED gesichert. Die Anzahl der LEDs, die vor der Deaktivierung des Signalaspekts ausfallen dürfen, kann spezifisch für jede Installation eingestellt werden.

Die Matrixsignale zur Geschwindigkeitsanzeige bestehen aus Lichtpunkten, die jeweils aus vier LEDs bestehen. Sie gewährleisten Leuchtdichten, die weit über die für Nebenbahnen bis 100 km/h geforderten Werte hinausgehen. Jede Matrix kann bis zu zehn verschiedenen Signalbegriffe anzeigen (Bild 5).

Für den Umbau der Weichen von mechanischen Rückholfedern auf elektrische Antriebe entschied man sich für den Typ AH950 von Voestalpine. Die Verschlüsse wurden ebenfalls getauscht, da ein moderner Klinkenverschluss CKA 12 gefordert war. Geschaltet werden die Antriebe in Standard-Vierdraht-Technik. Für die Gleisfreimeldung wurde von Frauscher das Achszählsystem ACS2000 geliefert. Das System mit seinen bewährten Kom-

ponenten verfügt über eine Typzulassung des Eisenbahn-Bundesamtes. Als Achszähler kommt der auch bei der DB AG verbreitete eingesetzte RSR123 zum Einsatz.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem neuen BBR-Regionalstellwerk wurde der Ammertalbahn ein leistungsfähiges und günstiges Gesamtsystem an die Hand gegeben, das die betrieblichen und technischen Anforderungen für Nebenstrecken nicht nur abdeckt, sondern in seiner Funktionalität in wesentlichen Punkten darüber hinausgeht. Das eingesetzte Stellwerkspersonal wird durch die hohe Verfügbarkeit der Technik sowie eine vollautomatisierten Betriebsführung entlastet.

Die zu erwartenden künftigen Erweiterungen der Funktionalitäten wurden in der Systemarchitektur bereits berücksichtigt. Eine weitere Taktverdichtung sowie flexible Reaktionen auf akute Belastungsspitzen sind somit möglich. Auch ein Zusammenschluss mehrerer Nebenbahnen zu Betriebsleitzentralen wäre umsetzbar. So wird darüber nachgedacht, die Strecke der Ammertalbahn in das Netz eines Regionalstadtbahnnetzes nach dem Vorbild Karlsruhe einzubeziehen und zweigleisig auszubauen. Die Regionalstellwerke würden dank ihrer Modularität auch die hieraus erwachsenden Anforderungen meistern (Bild 6).

#### LITERATUR | LITERATURE

- [1] Ammertalbahn. Wikipedia-Artikel: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ammertalbahn> [16.02.2016].
- [1] Ammertalbahn. Wikipedia article: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ammertalbahn> [German, 16 February 2016].
- [2] Bückle, A.: Auswahl eines geeigneten Betriebsverfahrens für eine Nebenbahn (Ammertalbahn), Masterarbeit TU Dresden, Juli 2012.
- [2] Bückle, A.: Auswahl eines geeigneten Betriebsverfahrens für eine Nebenbahn (Ammertalbahn) [Selecting a suitable operations procedure for a branch line (Ammertalbahn)], master's thesis TU Dresden, July 2012.
- [3] VDV-Schrift 752: Empfehlung zur Auswahl geeigneter Betriebsverfahren für eingleisige Eisenbahnstrecken. 2004.
- [3] VDV document 752: Empfehlung zur Auswahl geeigneter Betriebsverfahren für eingleisige Eisenbahnstrecken [recommendations regarding the choice of suitable operations procedures for single-track railway lines]. 2004.
- [4] Linhardt, A.: Ein Konzept, viele Anwendungen – Der Doppelrechner A212 als sicheres Modul. SIGNAL + DRAHT, 2016, Heft 01+02, S. 36-44.
- [4] Linhardt, A.: The A212 double-controller concept for various safe-module uses. SIGNAL + DRAHT, 2016, vol. 01+02, pp. 36-44.
- [5] Deutsche Bahn AG: Betriebliches und technisches Lastenheft für elektronische Stellwerke Regional (ESTW-R). März 2006.
- [5] Deutsche Bahn AG: Betriebliches und technisches Lastenheft für elektronische Stellwerke Regional [operational and technical specifications for electronic regional interlocking systems] (ESTW-R). March 2006.
- [6] EN 50126: Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS). März 2003.
- [6] EN 50126: Railway applications - The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). March 2003.
- [7] Hamann, D.; Linhardt, A.; Zimmerling, M.: Neue LED-Signale für die Relaisstellwerke der Hamburger Hochbahn. In: SIGNAL + DRAHT, 2014, Heft 07+08, S. 42-44.
- [7] Hamann, D.; Linhardt, A.; Zimmerling, M.: New LED signals for Hamburger Hochbahn's relay-based interlocking units. SIGNAL + DRAHT, 2014, vol. 07+08, pp. 42-44.
- [8] Deutsche Bahn AG: DB-Richtlinie Ril 301; Signalordnung, Bahnbetrieb international; Signalbuch (SB). 8. Aktualisierung 13.12.2015.
- [8] Deutsche Bahn AG: DB-Richtlinie Ril 301; Signalordnung, Bahnbetrieb international; Signalbuch (SB) [DB guideline Ril. 301; railway signalling, international railway operation, signal book]. 8th update 13 December 2015.



**Bild 6: Offizielle Einweihung der modernisierten Ammertalbahn durch Kommunalpolitiker und Vertreter von ZÖA, DB und BBR, Entringen, 12. September 2015**

Fig. 6: Official commissioning through regional politicians and representatives of ZÖA, DB and BBR, Entringen, September 12, 2015

The track vacancy detection uses the ACS2000 axle counter system supplied by Frauscher. This system with its proven components has been type-approved by the German Federal Railway Agency. The actual axle counters are the RSR123, which are also in widespread use with Deutsche Bahn.

#### 4 Summary and outlook

With the new BBR regional interlocking system, the Ammertalbahn has been equipped with an efficient, attractively priced complete system, which not only covers the operational and technical requirements for secondary lines, but even exceeds them on several key functional points. The workload on the personnel operating the interlocking system has been reduced thanks to the system's high availability and fully automated operation.

The probable future functional enhancements have already been taken into consideration in the system architecture. It is thus going to be possible to increase the train frequency and to react flexibly to acute peak loads. It would also be feasible to set up control centres to be shared by several secondary lines. The ideas that have been floated for the future include integrating the Ammertalbahn in a regional railway network along the line of the Karlsruhe model and laying a second track. Thanks to their modularity, the regional interlocking units would also be able to cope with the requirements resulting from such actions (fig. 6).

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dipl.-Wirtsch.-Ing. Lutz Gutfreund

Projektleiter / Project manager  
BBR Verkehrstechnik GmbH  
Anschrift/Address: Pillaustraße 1e, D-38126 Braunschweig  
E-Mail: gutfreund@bbr-vt.de

##### Dipl.-Kaufm. Frank von Meissner

Eisenbahnbetriebsleiter / Railway operations manager  
Stuttgarter Straßenbahnen AG  
Anschrift/Address: Schockenriedstraße 50, D-70565 Stuttgart  
E-Mail: frank.meissner@mail.ssb-ag.de