

Erfahrungen mit der Gleisfeldvernetzung im Digitalen Knoten Stuttgart (Teil 1)

Experience gained from track field networking at the Stuttgart Digital Node (part 1)

Marc Böhm | Alexander Paltian | Martin Schleede | Benjamin Voigt | Matthias Winckler

Die erste Planung eines Digitalen Stellwerks in einem großen Knoten förderte eine Reihe von Erfahrungen zutage. Insbesondere in Bahnhofsbereichen im Bestand, die unter hohen Redundanzanforderungen vorübergehend nicht nur mit European Train Control System (ETCS), sondern auch konventionell ausgerüstet werden sollen, stößt das bisherige Verkabelungskonzept an Grenzen. Auf der Grundlage dieser Erfahrungen wurde eine Reihe von Optimierungen erarbeitet.

1 Motivation

Als Weiterentwicklung der Elektronischen Stellwerke (ESTW) zeichnen sich Digitale Stellwerke (DSTW) durch einige Vorteile aus: So erleichtern standardisierte Schnittstellen (EULYNX) die Modularisierung und Austauschbarkeit einzelner Komponenten; die Trennung von Energie und Daten führt zu praktisch unbegrenzten Stellentfernungen. DSTW sind, neben ETCS, ein Herzstück der Digitalen Schiene Deutschland (DSD). In ersten Vorseri-

The first design of a digital interlocking at a large German railway node has brought a number of experiences to light. The present cabling concept is currently reaching its limits, particularly in existing train station areas that are to be temporarily equipped not only with European Train Control System (ETCS), but also with Class B under the high redundancy requirements. A number of optimisations have been developed based on this experience.

1 Motivation

Digital interlockings (DSTW), a further stage in the development of electronic interlockings (ESTW), are characterised by several advantages: for example, the standardised interfaces (EULYNX) facilitate the modularisation and interchangeability of the individual components; the separation of power and data leads to practically unlimited interlocking distances. DSTWs are at the heart of Digitale Schiene Deutschland (DSD) alongside

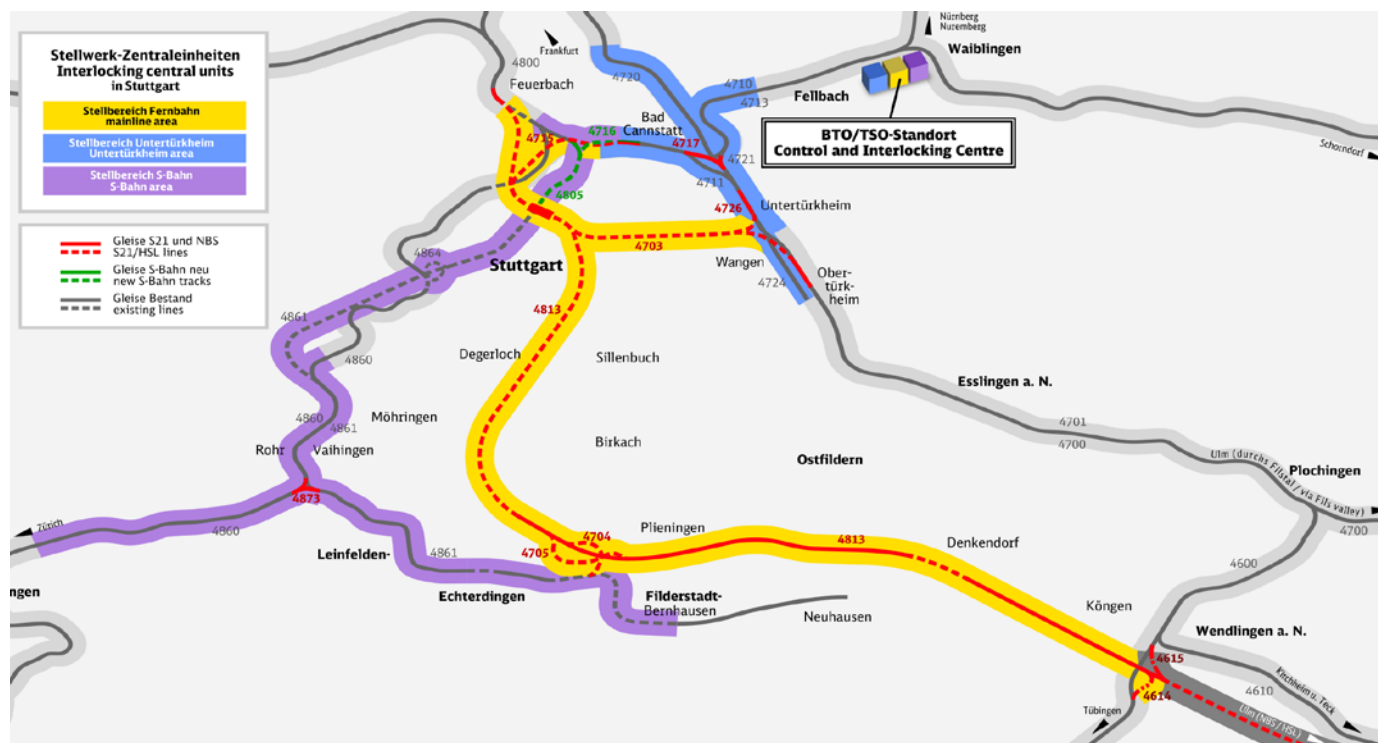
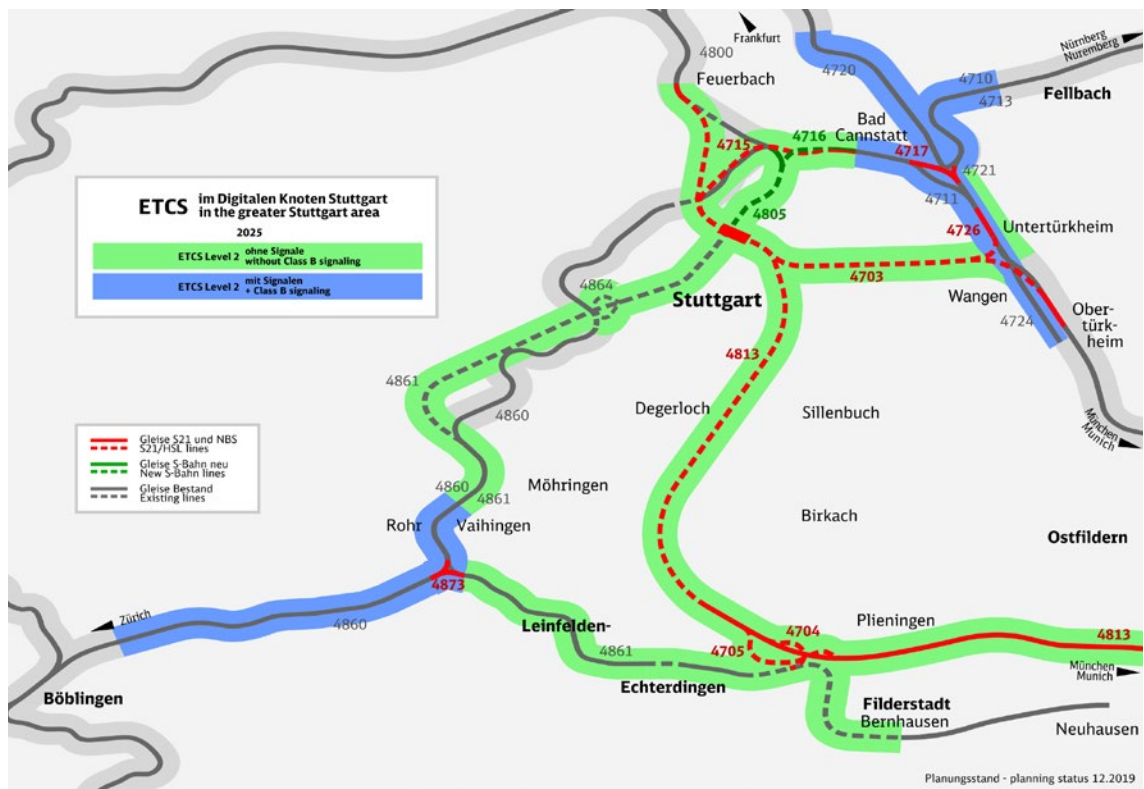


Bild 1: Der bis 2025 entstehende Kern des DKS wird durch drei Zentraleinheiten gesteuert.

Fig. 1: The core of the DKS that will be created by 2025 will be controlled by three central units.

Bild 2: Zwei Bereiche des DKS werden vorübergehend noch „mit Signalen“ ausgerüstet (blau).

Fig. 2: Two areas of the DKS will temporarily still be equipped with lineside signals and PZB train protection (blue).



enprojekten wurden in kleineren Betriebsstellen und Streckenabschnitten bereits einige Erfahrungen gesammelt. [1]

Im Rahmen des Digitalen Knotens Stuttgart (DKS), einem Pilotprojekt im DSD-Starterpaket, wird erstmals ein großer Knoten in Deutschland mit DSTW, ETCS und weiteren Techniken ausgerüstet. [2] Zunächst entsteht dazu ein kombinierter Betriebs- und Technikstandort (BSO/TSO) mit drei Zentraleinheiten (DSTW-ZE) und 16 Fahrdienstleiter-Arbeitsplätzen (iLBS [3]), die rund 125 Netzkilometer im Kern des DKS steuern – darunter zu etwa gleichen Teilen die neue Infrastruktur von Stuttgart 21 (S 21) sowie Teile des Bestandsnetzes, beispielsweise die S-Bahn-Stammstrecke (Bild 1). Die DSTW-ZE sind über 19 Gleisfeldkonzentratoren (GFK) und insgesamt rund 500 Feldelementanschlusskästen bzw. -schränke (FEAK, FEAS) mit den insgesamt rund 850 Weichen und Lichtsignalen per bbIP [4] und standardisierten (SCI-)Schnittstellen verbunden. Einzig die Gleisfreimeldung erfolgt noch konventionell, wie beim ESTW. Dazu kommen diverse Optimierungen, darunter verkürzte Laufzeiten [5] und neue Fahrstraßentypen [6]. Der gesamte DSTW-Bereich wird mit ETCS Level 2, soweit wie möglich bewusst „ohne Signale“, ausgerüstet. [7] Zwei Teilbereiche müssen aus verschiedenen Gründen vorübergehend noch doppelt (ETCS Level 2 mit Ks-Signalen und PZB) ausgerüstet werden (Bild 2), darunter der achtgleisige Bahnhof Stuttgart-Bad Cannstatt. [8]

Der Ausrüstungsauftrag für DSTW und ETCS wurde Ende 2019 an Thales vergeben. Die Ausführungsplanung ist inzwischen weit fortgeschritten, die Umsetzung im Feld läuft. Zeit für eine Zwischenbilanz.

2 Grundlagen der Gleisfeldvernetzung

Im Grundaufbau eines ESTW befinden sich die Controller für Weichen und Signale zentral im ESTW-A. Signalkabel, in denen Energie und Signalfelder zusammengefasst übertragen werden, ver-

ETCS. Some experience has already been gained in initial pre-series projects at minor stations and line sections. [1]

A major node in Germany is being equipped with DSTW, ETCS and other technologies for the first time as part of the Stuttgart Digital Node (Digitaler Knoten Stuttgart, DKS), a pilot project in the DSD starter package. [2] To begin with, a combined control and interlocking centre (BSO/TSO) is being built for this purpose with three central units (DSTW-ZE) and 16 dispatcher workstations (iLBS [3]) that control around 125 network kilometres at the core of the DKS – including roughly equal parts of the new Stuttgart 21 (S 21) infrastructure and parts of the existing network, such as the S-Bahn Core (fig. 1). The DSTW-ZE are connected via 19 track field concentrators (GFKs) and around 500 field device junction boxes or cabinets (FEAK, FEAS) with the total of ca 850 points and light signals using bbIP [4] and standardised (SCI) interfaces. Only the track vacancy detection is still conventional, as with the ESTW. In addition, there are also various optimisations, including shorter system delays [5] and new route types [6].

The entire DSTW area will be equipped with ETCS Level 2 and deliberately kept without any lineside signals/Class B as far as possible. [7] Two areas still have to be temporarily equipped with Class B (ETCS Level 2 with Ks signals and PZB train protection) for various reasons (fig. 2), including the eight-track Stuttgart-Bad Cannstatt station. [8] The equipment contract for the DSTW and ETCS was awarded to Thales at the end of 2019. The implementation planning is now well advanced and implementation in the field is underway. It is time for an interim review.

2 The basics of track field networking

The point and signal controllers are located centrally in substations (ESTW-A) in a basic ESTW structure. Signal cables, which

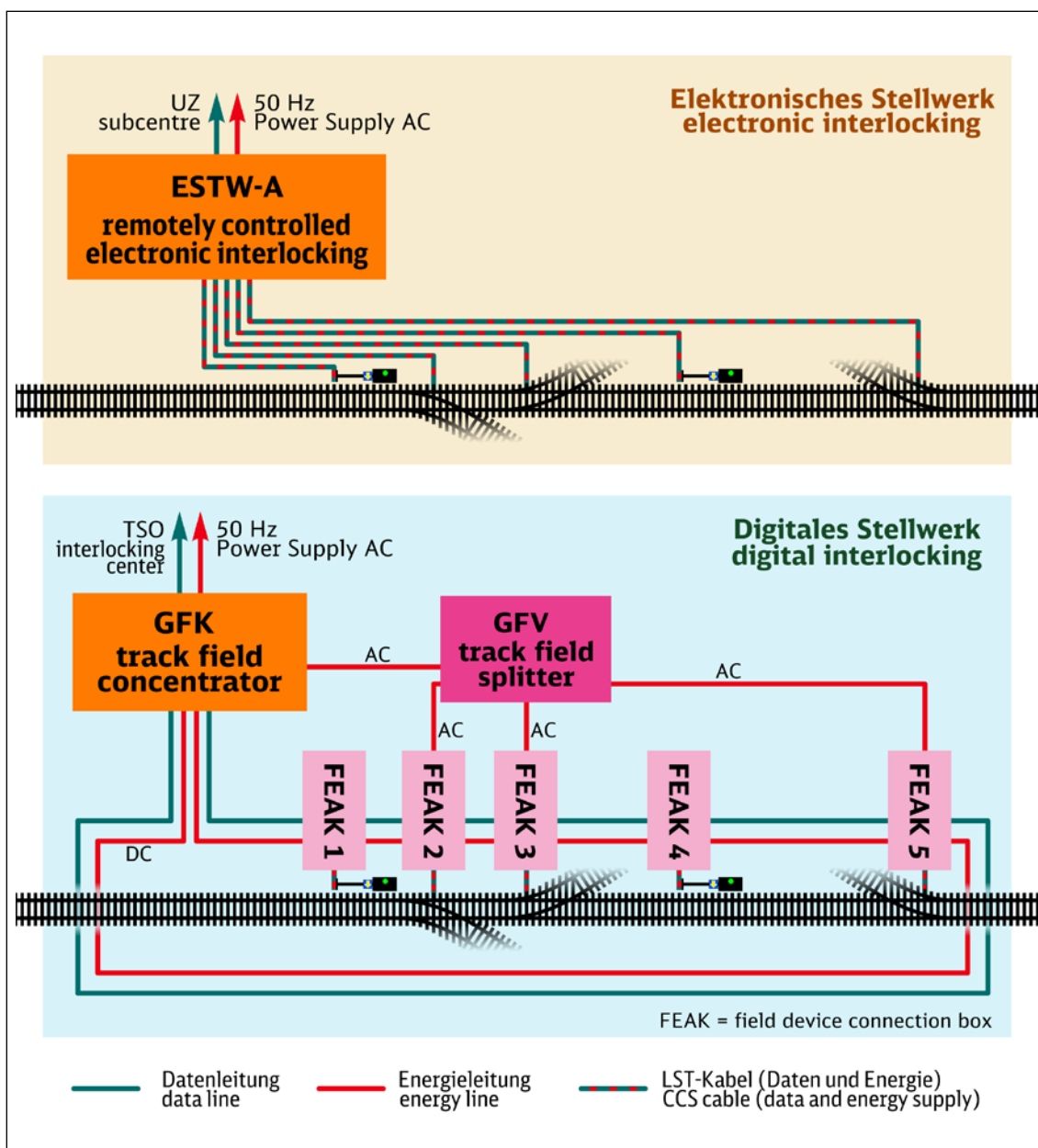


Bild 3: Vergleichende Prinzipdarstellung der Gleisfeldvernetzung in DSTW und ESTW

Fig. 3: A comparative principle representation of the track field networking in digital (DSTW) and electronic (ESTW) interlockings

binden die dortigen Ansteuereinheiten mit den Feldelementen (Bild 3). Jedem Feldelement sind dabei einzelne Adern zugewiesen, beispielsweise vier Adern je Weiche. Die einzelnen Adern werden in Stammkabeln von 80, 120 oder 200 Adern gebündelt und im Feld an (passiven) Kabelverteilern in kleinere Stammkabel (zum nächsten Kabelverteiler) oder Stickleitungen (zu den Feldelementen) aufgelöst. Mit üblichen Aderdurchmessern (0,9–1,8 mm) lassen sich so die meisten Feldelemente verlässlich ansteuern, wobei der Spannungsabfall oder induzierte Störströme die Stellentfernung auf 6,5 km begrenzen. Die relativ einfache Baumstruktur – ohne aktive Technik im Feld, ohne Redundanzen – erlaubt eine schlanke Kabelanlage, obwohl jeder Ader höchstens ein Element zugeordnet ist.

Im DSTW wird die Datenübertragung und die Stromversorgung hingegen bis ins Feld hinein getrennt (Bild 3). Die Ansteuerung der Elemente erfolgt nicht mehr zentral, sondern nahe an den Elementen:

- in Feldelementanschlusskästen (FEAK), mit einem Object Controller (OC) für ein Feldelement oder
- in Feldelementanschlussschränken (FEAS), mit bis zu fünf OC/Feldelementen.

transmit energy and signal aspects together, connect the control units with the field elements (fig. 3). The individual cores are assigned to each field element, for example four cores per set of points. The individual cores are bundled into trunk cables of 80, 120 or 200 cores and broken down into smaller trunk cables (to the next cable distributor) or spur cables (to the field elements) at (passive) cable distributors in the field. Most field elements can therefore be reliably controlled using the common core diameters (0.9-1.8 mm) with the voltage drop or induced interference currents limiting the distance to 6.5 km. The relatively simple tree structure – without any active technology in the field or redundancies – allows for a lean cable system, although each core is assigned to one element at most.

On the other hand, the data transmission and power supply in the DSTW are separated in the field (fig. 3). The elements are no longer controlled centrally, but close to the elements

- in field device connection boxes (Feldelementanschlusskästen, FEAK) with an object controller (OC) for a field element or

Im Folgenden wird vereinfachend der Begriff „FEAx“ verwendet. Die FEAx sind wiederum datenseitig über die GFK mit dem TSO verbunden. Die maximale Stellentfernung zwischen FEAx und Element ist, wie beim ESTW, begrenzt. Zwischen GFK und FEAx spielt lediglich der Spannungsabfall für die Stromversorgung noch eine Rolle – die über Lichtwellenleiter (LWL) geschaltete Datenübertragung hat hingegen keine praxisrelevanten Entfernungseinschränkungen.

Für LWL-Verbindungen werden langjährig erprobte Standard-Strecken-LWL-Kabel [9] verwendet, die sich unter anderem durch hohe Zugbelastung, einen Schutz vor Nagetieren und Wasserbeständigkeit auszeichnen. Für die Gleisfeldverkabelung werden typischerweise zwölf LWL-Fasern pro Kabel benötigt. Im Projekt werden Kabel mit sechs Bündeladern mit je zwei Fasern genutzt, da dieser Typ in Kabelverteilern eine einfachere Montage im Einzelfasermanagement erlaubt.

Für die AC- und DC-Energieversorgung der FEAx (bei angeschlossenen Weichen wird am FEAx zusätzlich AC benötigt) kommen 4-adrige Niederspannungs-Energieverteilungskabel [10] zum Einsatz, die durch DB Netz für die DSTW-Stromversorgung im Gleisfeld und die dortigen Bedingungen und Anforderungen entwickelt und freigegeben wurden. Anforderungen an die UV-Beständigkeit, Wasserfestigkeit, Halogenfreiheit, Zugfestigkeit, das Brandverhalten sowie den Nagetierschutz werden erfüllt. Weitere Kabel, wie Achszählkabel, werden wie beim ESTW realisiert.

3 Kabelkonzept

3.1 Konzept aus der Ausschreibung

In dem 2019 ausgeschriebenen Konzept waren die Kabelarchitekturen nur rudimentär betrachtet: Entsprechend der damals gültigen Planungsvorgaben war eine faserredundante LWL-Verkabelung vom GFK zu den FEAx sowie eine sternförmige Energieversorgung ohne weitere Redundanz vorgesehen. In den Betrieblichen Aufgabenstellungen (von 2019/2020) tauchte zum ersten Mal das Konzept des offenen Doppelrings auf, bei dem auf verschiedenen Fasern zueinander redundante „blaue“ und „graue“ Ebenen realisiert werden, um maximal fünf FEAx anzubinden: einmal vom GFK beginnend beim ersten FEAx sowie einmal vom GFK an allen FEAx vorbei, beginnend beim letzten FEAx (Bild 4). Damit bleiben bei einem Defekt oder einer Trennung einer der Verbindungen weiterhin alle FEAx über die jeweils andere Ebene ansteuerbar.

In Bietergesprächen wurden die Konzepte verschiedener Hersteller gemeinsam mit der DB verfeinert. Thales brachte dabei unter anderem für die Stromversorgung sein Powerbus-Konzept ein. Ende 2020 erhielt Thales den Zuschlag.

3.2 Optimierungen nach Vergabe

Nach der Vergabe wurde die LWL-Verkabelung in einer Arbeitsgruppe von DB und Thales weiter ausgestaltet. Um im hochbelasteten Knoten eine besonders hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten, sollte, wo immer möglich, die Verkabelung trassenredundant gestaltet werden. Von außen betrachtet bilden die LWL-Kabel dabei einen vollständigen Ring, der sich nicht selbst in derselben Trasse begegnen darf. Gemäß Planungsvorgaben und der Auslegung der im Ring enthaltenen Komponenten waren bis zu fünf OC in FEAx je Ring vorgesehen. [11] Für die Energieversorgung der FEAx (aus dem GFK) wird ein von Thales angebotenes Konzept eines 400-V-DC-Powerbus angewendet. Durch das Ringkonzept mit automatischer Fehlererkennung und -isolierung wird die Verfügbarkeit erhöht. Ein defektes Kabel wird erkannt und aus dem Ring getrennt – alle FEAx bleiben weiterhin von der jeweils funktionierenden Seite des Rings mit Energie versorgt; der Kabelfehler wird gemeldet.

- in field device connection cabinets (Feldelementanschlussschränke, FEAS) with up to five OC/field elements. (the term “FEAx” is used in the following for simplification.)

The FEAx are in turn connected to the TSO on the data side via the GFK. As with the ESTW, the maximum distance between the FEAx and the element is limited. Only the voltage drop in the power supply plays a role between the GFK and FEAx: on the other hand, the data transmission has been switched to fibre optic cables (FOC) and has no relevant distance restrictions.

Standard trackside FOC [9] connections that have been tried and tested over many years and are characterised, amongst other things, by a high tensile load, protection against rodents and water resistance are used. Track field cabling typically requires twelve fibres per cable. In the project, cables containing six loose tubes with two fibres each have been used, as this type allows for easier installation in the cable distributors in single fibre management.

4-core low-voltage power distribution cables [10], which have been developed and approved by DB Netz for the trackside DSTW power supply and adapted to the conditions and requirements there, are used for the AC and DC power supply of the FEAx (the FEAx also require AC when points are connected). All requirements pertaining to UV resistance, water resistance, non-halogen content, tensile strength, fire behaviour and rodent protection have been met. The other cables, such as axle counting cables, are implemented in the same way as for the ESTW.

3 The cable concept

3.1 The concept from the call for tenders

The cable architectures were only considered rudimentarily in the concept tendered in 2019: fibre-redundant FO cabling from the GFK to the FEAx and a star-shaped power supply were planned without any further redundancies according to the planning specifications valid at that time. The concept of the open double ring, in which redundant “blue” and “grey” layers are implemented on different fibres in order to connect a maximum of five FEAx, i.e. once from the GFK starting at the first FEAx and once from the GFK past all the FEAx, starting at the last FEAx (fig. 4), appeared in operating requirement specifications defined by DB Netz for the first time in 2019/2020. This means that all the FEAx can still be controlled in the event of a defect or the disconnection of one of the redundant connections.

The concepts from various manufacturers were refined together with DB during the bidder discussions. Thales contributed its Powerbus concept for the power supply, among other things. Thales was awarded the contract at the end of 2020.

3.2 Optimisation after the awarding of the contract

The fibre optic cabling was further refined in a working group consisting of DB and Thales after the contract was awarded. The cabling was meant to be designed in a route-redundant manner wherever possible in order to ensure particularly high availability in the much frequented node. Seen from the outside, the fibre optic cables form a complete ring, which must not meet in the same route. Up to five OC in FEAx per ring have been planned according to the planning specifications and the design of the components contained in the ring. [11] A 400 V DC power bus concept offered by Thales has been used for the power supply to the FEAx (from the GFK). The ring concept's automatic fault detection and isolation increases availability. A

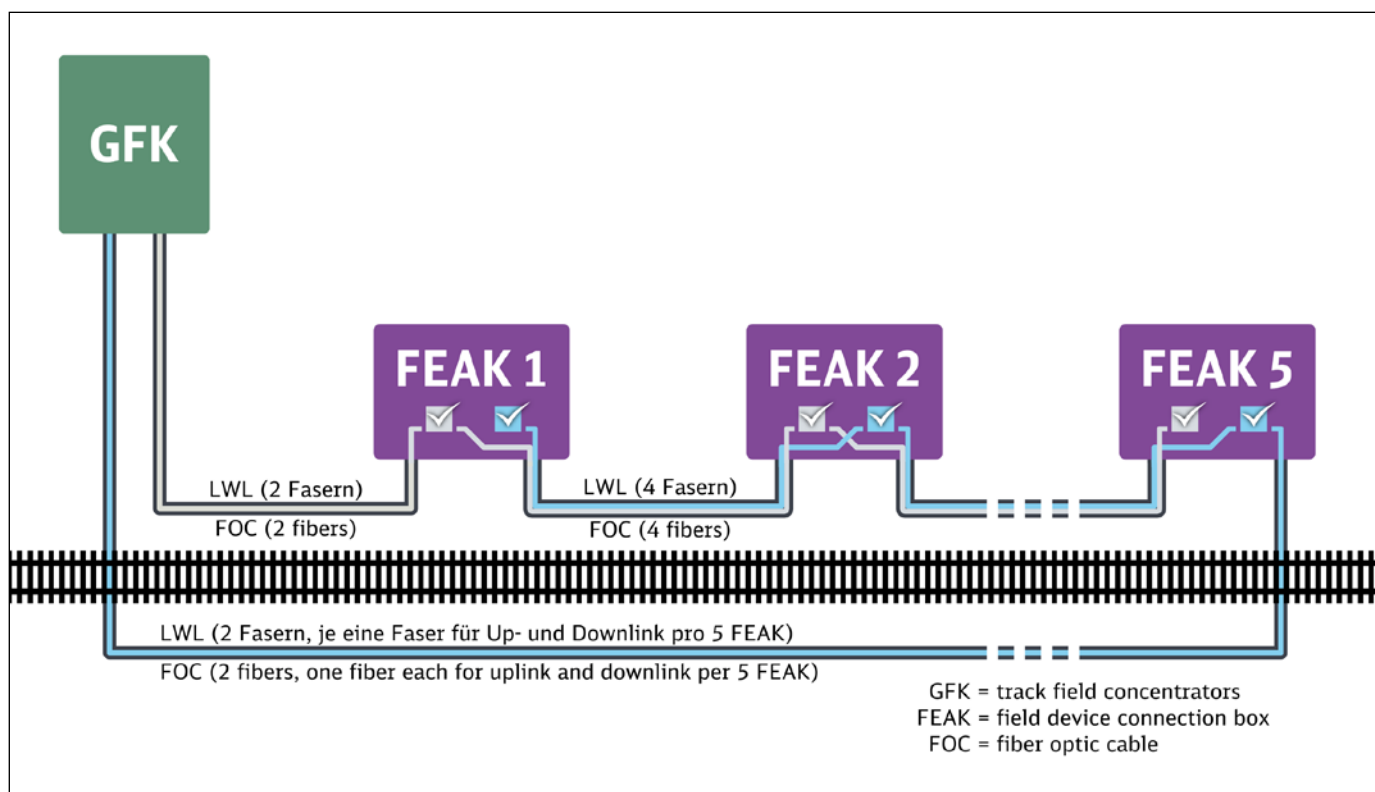


Bild 4: Konzept des offenen Doppelrings mit Trassenredundanz

Fig. 4: The concept of the open double ring with path redundancy

Die Energieversorgung der Weichenantriebe (mit 400 V AC) läuft über ein gesondertes Netz. Bis zu vier Weichenantriebe werden dabei in einem Baum verkabelt, wobei alle vier Weichen gleichzeitig umlaufen können müssen, um kurze Laufzeiten [6] zu gewährleisten. Die Auswirkungen von Ausfällen eines Baums werden begrenzt, indem beispielsweise Weichen für Richtung und Gegenrichtung in getrennten Bäumen verkabelt werden.

Die Achszähltechnik wird nach ESTW-Standard verkabelt und an Achszählrechner (AZR) im LST-Modul des GFK angebunden, da die Integration von AZR in FEAX zum Zeitpunkt der Entscheidung noch nicht weit genug vorangeschritten war.

4 Erfahrungen aus der Realisierung

Zum DKS-Projektbeginn (2019) gab es in weiten Teilen des Bestandes keine Kabeltiefbauplanung. Erst durch das Projekt DKS entstand die Notwendigkeit, die Kabeltrassen des Bestandes unter weiterlaufendem Betrieb an die neuen Erfordernisse anzupassen. Eine übergreifende Planung wurde unverzüglich begonnen. Die Anforderungen an die Kabeltrassen konnten dabei noch nicht mit Gewissheit benannt werden: Ein etabliertes Regelwerk für die DSTW-Kabelanlagen gab es nicht, die Planungsvorgaben waren in Erstellung, Erfahrungen aus den Vorserienprojekten noch spärlich, die Planer mit Besonderheiten eines DSTW nicht vertraut. Um der Kabeltiefbauplanung einen Anhaltspunkt zu geben, wurden die Kapazitäten der Kabeltrassen auf ein ESTW ausgelegt und zusätzlich zu den üblichen Reserven weitere 10 % eingeplant. Damit fühlten sich die Beteiligten auf der sicheren Seite, zumal dem DSTW der Ruf vorausseilte, weniger Kabel zu benötigen. So wurde erwartet, dass die Verkettung von jeweils bis zu fünf Außen-elementen gegenüber dem ESTW Kabel sparen würde. Im Bereich des (weitgehend unterirdischen) S-21-Neubaus ließ ferner der

defective cable is detected and disconnected from the ring – all the FEAX continue to be supplied with power from the functioning side of the ring; the cable fault is reported.

The power supply to the point machines (with 400 V AC) runs via a separate network. Up to four point machines are wired into a tree, whereby all four points must be able to circulate simultaneously in order to ensure short system delays [6]. The effects of any failures in a tree are limited, for example, by wiring points for one direction and its opposite in separate trees. The axle counting technology is wired according to the ESTW standard and connected to the axle counting computers in the CCS module of the GFK, as the integration of the axle counter computer into the FEAX had not progressed far enough at the time of the decision.

4 Experience from the implementation

There was no underground cable construction planning in large parts of the existing system at the start of the DKS project (2019). It was not until the DKS project that the need arose to adapt the existing system's cable routes to the new requirements while continuing operations. Comprehensive planning then started immediately.

The requirements for the cable routes could not yet be specified with any certainty: there was no established set of rules for the DSTW cable systems, the planning specifications were still being drawn up, experience from the pre-series projects was still sparse and the planners were not familiar with the special features of a DSTW. In order to give the underground cable planning a point of reference, the cable conduit capacities were designed for an ESTW and an additional 10 % was planned on top of the usual reserves. The involved parties felt

weitgehende Verzicht auf die zuvor vorgesehene Doppelausrüstung Einsparungen erwarten.

Mit den ersten vollständig vorliegenden Kabelplänen, wurde deutlich, dass sich die Kabelmengen ggü. den Annahmen teils deutlich erhöhten. Dies ist aber nur zum Teil den entwickelten Redundanzkonzepten zuzuschreiben. Vielmehr lässt die Trennung von Stromversorgung und Datenübertragung mit der gleichzeitigen Anbindung von kleinen Feldelementgruppen ab dem GFK bei Bahnhöfen mit einer dreistelligen Anzahl an Stellelementen die Kabelanzahl und die erforderlichen Verlegequerschnitte förmlich explodieren. Hinzu kommt die separat verkabelte Gleisfreimeldung. Der überwiegende Teil des Kabelquerschnitts ist dabei nicht für die Daten- oder Stromversorgung dienlich: Mantel, Schirmung, Nagetierschutz und Isolierung sowie Platz für Ein- und Ausbindungen belegen den größten Teil eines vollen Kabeltrags.

Durch die zusätzliche Anforderung, jedes LWL-Kabelsegment ohne Betriebseinschränkungen tauschen zu können, nahm die Anzahl der Kabel insbesondere im Bereich der GFK weiter zu. Da eine Faserredundanz zu vermeiden ist, werden in vielen Kabeln nur vier von zwölf Fasern zwischen den FEAx tatsächlich genutzt (RX+TX blau + RX+TX grau), teils nur zwei Fasern (zwischen GFK und FEAx). Dazu kamen die separaten Daten- und Stromversorgungen mit DC und AC. Dies wurde und wird wo immer möglich durch größere Kabelführungssysteme kompensiert.

Im Bahnhof Bad Cannstatt war bereits die Suche nach einem Standort für einen GFK schwierig, sodass von vier denkbaren Standorten nur einer im Westkopf mit relativ wenigen Kompromissen zu den Planungsvorgaben ausgewählt wurde. Von diesem Standort aus musste der gesamte Ostkopf des Bahnhofs, mit Einfahrten von sechs Strecken, einem Abzweig (Nürnberger Straße) und Blockstrecken (nach Fellbach) angebunden werden. Für die daraus resultierenden Kabel hätten vom Westkopf zum Ostkopf mehrere Kabeltrassen mit mehr als 70 einzelnen Kabeln geplant werden müssen (Bild 2). Damit wären die größten gängigen Kabelführungssysteme um den Faktor zwei bis drei überlastet worden. Zusätzlich zu Bestandskabeln und -trassen, neuen und alten Gründungen für Signale und Oberleitungsmasten musste auf die bestehende und die zukünftige Trassierung mit Anbindung der neuen Neckarbrücke Rücksicht genommen werden. Hierdurch war es vor allem im Westkopf herausfordernd, Schächte in ausreichender Größe platzieren zu können. Die Weichen durften nicht unterquert werden, und der Druckbereich des Oberbaus schränkte die Schachtgröße wieder ein. Keine praktikable Lösung fand sich für die Bahnsteigbereiche, sodass eindeutig war, dass die Kabelanlage umgeplant werden musste. Drei grundsätzliche Ideen, die Kabelmenge an kritischen Stellen zu reduzieren wurden diskutiert und wie folgt priorisiert:

1. Abschnittsweiser Verzicht auf Redundanzen
2. Bessere Ausnutzung der bisher geplanten Kabel durch Einbindung von mehreren Feldelementen
3. Planung eines weiteren GFK

Schnell zeigte sich, dass die ersten beiden Ideen allein nicht zu einer mit vertretbarem Aufwand umsetzbaren Lösung führen würden. Ein zweiter GFK für den Stellbereich Bad Cannstatt wird nun im Ostkopf geplant.

Im bestehenden Tunnel Flughafen (Bild 2), in welchem keine weiteren Kabelkanäle mehr ergänzt werden können, hat sich das entwickelte Kabelkonzept angesichts von weniger Leerrohre als nicht umsetzbar erwiesen. Es laufen daher Untersuchungen zu umsetzbaren Lösungsansätzen (z. B. Kabelreduzierungen, weitere GFK-Module oder alternative Kabelverlegung beispielsweise an der Tunnelwand).

that they were on the safe side, especially since the DSTW had the reputation of requiring less cables. Thus it was expected that the interlinking of up to five field elements in a ring would save cables compared to the ESTW. Savings were also expected in the area of the new (largely underground) S 21 construction based on the omission of the previously planned Class B equipment.

However, once the first complete cable plans were available, it became clear that the cable quantities were significantly greater than had been assumed, albeit that this was only partly due to the developed redundancy concepts. Rather, the separation of the power supply and the data transmission in conjunction with the triple-digit number of field elements from the GFK connected into small groups at the stations led to a massive increase in the number of cables and cross-sections. Added to this was the separately wired track vacancy detection. The majority of the cable cross-section is not used for the data or power supply: sheathing, shielding, rodent protection and insulation as well as space for the connections and disconnections take up most of a full cable tray.

The additional requirement of being able to swap each fibre optic cable segment without any operating restrictions further increased the number of cables, especially in the GFK area. As fibre redundancy is to be avoided, many cables actually only use four of the twelve fibres between the FEAx (RX+TX blue + RX+TX grey) and sometimes only two fibres (between the GFK and the FEAx). In addition, there were separate data and power supplies for DC and AC. This was and is compensated for wherever possible with larger cable conduits.

The search for a location for a single GFK was already difficult at the Bad Cannstatt station, so that only one of the four conceivable locations was selected in the west station throat with relatively few compromises to the planning specifications. The station's entire east throat had to be connected to seven railway lines from this location. This would have meant the need to plan for several cable conduits with a capacity for over 70 individual cables from the west to the east throat (fig. 2). This would have overloaded the largest common cable conduits by a factor of two to three. In addition to the existing cables and conduits and the new and old foundations for signals and overhead line masts, consideration had to be given to the existing and future routing with the connection for a new bridge that had been created within the S 21 project. This made the placement of shafts of sufficient size challenging, especially in the west throat. The points should not be crossed underneath and the track pressure area again restricted the shaft size. No practical solution was found for the platform areas, so it was clear that the cable system would have to be redesigned. Three basic ideas aimed at reducing the amount of cables at the critical points were discussed and prioritised as follows:

1. the abandonment of the redundancies in some sections
2. better utilisation of the previously planned cables by integrating several field elements
3. planning for a further GFK

It quickly became apparent that the first two ideas alone would not lead to a solution that could be implemented at a reasonable cost. A second GFK is now being planned in the east throat.

The cable concept developed in the existing airport tunnel (fig. 2), where no more cable ducts can be added, has proven to be unfeasible due to too few empty conduits. Investigations are therefore underway into feasible solutions (e.g. cable re-

5 Optimierungen

Im Lichte dieser Erfahrungen wurden einige Optimierungen entwickelt, die bereits teilweise im Projekt Verwendung finden und in jedem Fall Folgeprojekten zugutekommen.

5.1 Datenübertragung

Um die zwölf-fasrigen LWL-Kabel besser zu nutzen, wurde die links unten in Bild 5 gezeigte Lösung entwickelt, zwei (im Ausnahmefall drei) FEAx-Gruppen parallel mittels eines Kabels anzubinden. Insbesondere in größeren Betriebsstellen mit vielen parallel verlaufenden Kabeln werden damit wesentlich weniger LWL-Kabel benötigt. Diese Optimierungen kommen im Großteil des Projekts bereits zur Anwendung. Für zukünftige Anwendungen wurde, wie in Bild 5 rechts dargestellt, das LWL-Netz in zwei Ebenen geteilt und zusätzlich die Auslastung der Kabel erhöht. Das Gleisfeldnetz wird dabei in eine Bahnhofsebene und eine Feldelementebene unterteilt:

- In der Bahnhofsebene kommen höherfasrige LWL-Kabel zum Einsatz, welche vom GFK ausgehend durch die Betriebsstelle zurück zum GFK geführt werden („Bahnhofsring“). Durch den Einsatz mehrerer Bahnhofsringe lässt sich das Datennetz entsprechend der Topologie der Betriebsstelle strukturieren, z.B. getrennte Ringe je Bahnhofsteil. Als Übergangspunkt zwischen den beiden Netzebenen dient der „Gleisfeldverzweiger – Daten“ (GVD), welcher passiv als LWL-Muffe oder Verteilerschrank ausgeführt sein kann.
- Unterhalb der Bahnhofsebene dient die Feldelementebene der direkten Datenanbindung der FEAx. Aus zwei unabhängigen GVD werden dabei zwei Gruppen aus bis zu fünf OC über ein zwölf-fasriges Kabel angebunden. Somit kann die Anbindung der einzelnen OC an den GFK über eine weitestgehend trassenreduzante, zumindest jedoch kabelredundante Führung der blauen und grauen Netzebenen realisiert werden.

5.2 Stromversorgung

Erste Überlegungen zur Reduzierung der DC-Energieversorgungs-Kabelmenge zielen ebenfalls auf größere Ringe: Da die Kabel vieradrig sind und regulär der Stromfluss auf zwei Adern ver-

ductions, further GFK modules or alternative cable laying, for example on the tunnel wall).

5 Optimisation

A number of optimisations have been developed in the light of this experience, some of which are already being used in the project and will in any case benefit subsequent projects.

5.1 Data transmission

The solution shown in the lower left of fig. 5 was developed to connect two (in exceptional cases three) FEAx groups in parallel using one cable in order to make better use of the twelve-fibre FOC. Considerably fewer fibre-optic cables are needed, particularly in larger sites (such as operating control points) with many cables running in parallel. These optimisations are already being used in most of the project.

As shown in fig. 5 on the right, the fibre optic network has been divided into two layers and the utilisation of the cables has additionally been increased for future applications. The track field network has thereby been divided into a station level and a field device level:

- higher-fibre optic cables have been used at the station level and they are routed from the GFK through the station back to the GFK (“the station ring”). The use of several station rings means that the data network can be structured according to the topology of the operating point, e.g. separate rings for each station section. The transition point between the two network levels is the “track field splitter for data” (GVD), which can be passively designed as a fibre optic sleeve or distribution cabinet.
- The field element level is used for the direct data connection of the FEAx below the station level. Two groups of up to five OCs are connected from two independent GVD via a twelve-fibre cable. Thus, the individual OCs can be connected to the GFK via a largely route-redundant, but at least cable-redundant routing of the blue and grey network level.

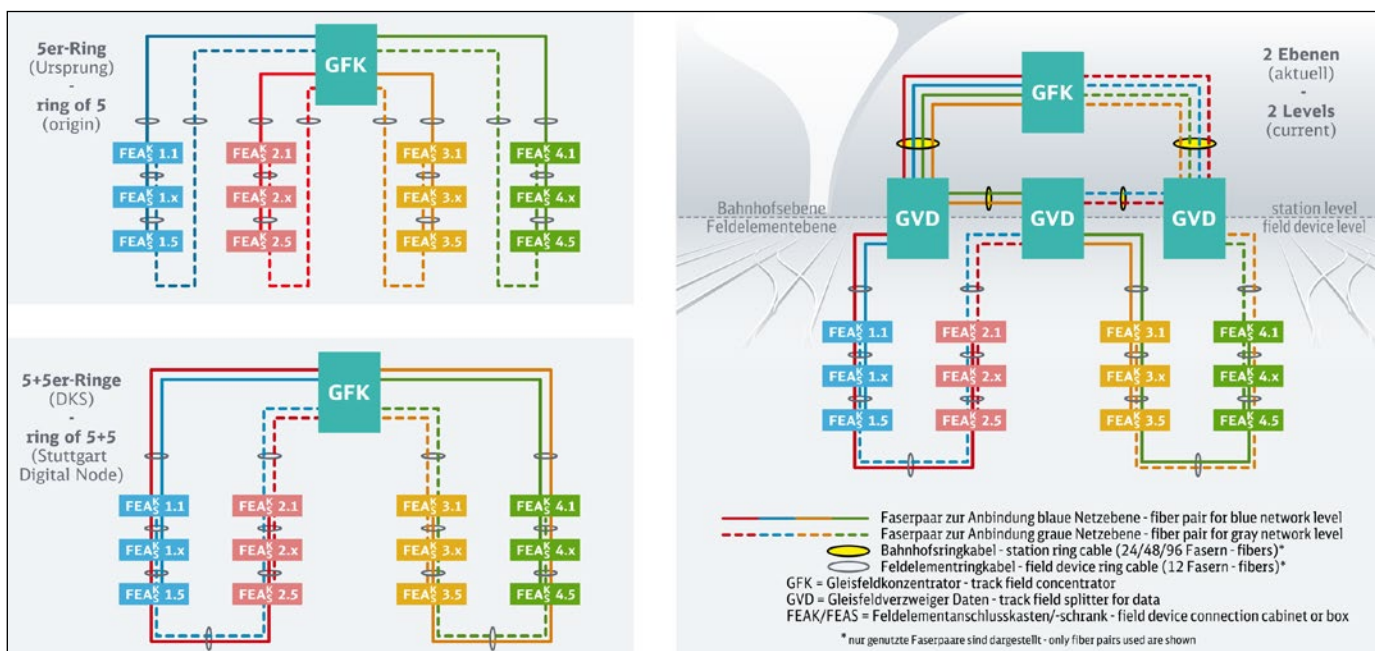


Bild 5: Wesentliche Entwicklungsschritte der Gleisfeldvernetzung für Daten

Fig. 5: The key conceptual steps in track field networking for data

teilt wird, lag der Gedanke nahe, je zwei Adern für jeweils fünf FEAx zu verwenden und somit einen Kabelring über zehn FEAx zu realisieren, was so aber doch nicht umgesetzt wurde, da alle Komponenten im DC-Ring auch für den Energiebedarf von bis zu zehn FEAx ausgelegt sind. Infolgedessen werden in der DC-Energieversorgung die Ringe nun mit bis zu zehn FEAx geplant, ohne die Adern wie bei dem vorher erwähnten Ansatz aufzuteilen. Obwohl der höhere Strombedarf in den 10er-Ringen zu dickeren Kabeln als in den 5er-Ringen führt, ermöglicht die Zusammenfassung der Kabel eine um bis zu 50 % reduzierte Kabelmenge. Diese Optimierungen kommen im Projekt bereits größtenteils zur Anwendung. Während die vergleichsweise dünnen LWL-Kabel verhältnismäßig einfach zusammengefasst und somit reduziert werden können, lässt sich dies nicht auf die Energiekabel übertragen, da diese deutlich dicker würden. Als Alternative werden zukünftig standardisierte abgesetzte Energieversorgungsmodul zur Verfügung stehen. Sie ähneln jenen in den GFK, kommen jedoch ohne deren TK- und LST-Modul aus. Sie verfügen über eine redundante LWL-Anbindung und eine redundante Einspeisung aus dem Energieverteilnetz. Diese Module können an Orten geplant werden, an denen viele zu steuernde Feldelemente benötigt werden, ein besonders hoher Energiebedarf besteht oder die Elemente weit entfernt vom nächsten GFK stehen, jedoch möglicherweise kein Platz für einen vollständigen GFK ist oder ein solcher nicht unbedingt nötig ist. Im DKS wird für den Tunnel Flughafen ein solches Energiemodul erwogen.

6 Ausblick

Das mit dem Pilotprojekt DKS verbundene Ziel, Erfahrungen für die flächenhafte Umsetzung der DSD zu sammeln, wurde erwartungsgemäß erfüllt. Die im DKS gesammelten Erfahrungen fließen und fließen in weiterentwickelte Regelwerke ein und werden auch in der anlaufenden Planung für die weitere räumliche Ausdehnung des DKS (Baustein 3) genutzt werden. Die Erfahrungen unterstreichen auch deutlich, dass wo immer möglich auf eine Doppelausrüstung der Infrastruktur verzichtet werden sollte und stattdessen auch Fahrzeuge frühzeitig, effizient und koordiniert für die DSD ausgerüstet werden sollten. [12]

Den ersten Teil des neuen Stellwerks, mit dem Bahnhof Bad Cannstatt, zum Jahreswechsel 2023/2024 wie geplant in Betrieb zu nehmen, entspricht einem gewaltigen Kraftakt, der allen Beteiligten – einschließlich EVU und den Fahrgästen – viel abverlangt wird. Unter anderem sind in den kommenden Monaten noch zahlreiche Kabelführungssysteme zu errichten und Kabel zu verlegen. Dies ist der Erkenntnisstand vom Februar 2023. Mit voranschreitender Umsetzung im Feld und Gewinnung weiterer Erkenntnisse wird ein zweiter Teil zu diesem Beitrag folgen. ■

5.2 The power supply

The initial considerations for reducing the quantity of DC power supply cables also focussed on larger rings: since the cables are four-core and the current flow is regularly distributed over two cores, the idea of using two cores each for five FEAx and thus realising a cable ring over ten FEAx was obvious, but this was not implemented in the end, since all the components in the DC ring have also been designed for the power requirements of up to ten FEAx. As a result, the rings in the DC power supply have now been planned with up to ten FEAx without splitting the cores as in the previously mentioned approach. Although the higher current demand in the 10-core rings results in thicker cables than in the 5-core rings, combining the cables allows for up to 50 % less cable. These optimisations are already being used for most of the project.

While the comparatively thin fibre optic cables can be relatively easily combined and thus reduced, this cannot be transferred to the power cables, as they would become significantly thicker. As an alternative, standardised remote power supply modules will be available in the future. They are similar to those in the GFK, but can do without the communication and CCS module. They have a redundant fibre optic connection and a redundant feed from the power distribution network. These modules can be planned in locations with many field elements, where there is a particularly high energy demand or where the elements are located far away from the nearest GFK, but there may not be enough space for a complete GFK or one may not be absolutely necessary. Such an energy module is being considered in the DKS for the airport tunnel.

6 Perspectives

As expected, the objective of the DKS pilot project of gaining experience for the national implementation of the DSD has been fulfilled. The experience gained in the DKS has flowed and continues to flow into improved regulations and will also be used in the ongoing planning for the further expansion of the DKS (Building Block 3). The experiences have also clearly underlined that Class B equipment should be avoided wherever possible. Instead, vehicles should be equipped for DSD in a rapid, efficient and coordinated manner. [12]

Getting the first part of the new interlocking, with the Bad Cannstatt station, up and running as planned at the turn of 2023/2024 is a huge feat that will demand a lot from everyone involved – including the rail operators and passengers. Among other things, numerous cable routing systems still have to be erected and cables laid in the coming months.

This is the state of knowledge as of February 2023. The second part of this paper will follow once the implementation in the field has progressed and further knowledge has been gained. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Müller, R.: Digitale Stellwerke tragen die Digitalisierung der Bahn, Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2021 (<https://bit.ly/3lwCOg8>)
- [2] Beyer, M.; Blateau, V.; Bitzer, F.; Dietrich, F.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Richter, R.; Rudolph, C.; Vogel, T.: Der Digitale Knoten Stuttgart wird Realität, DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2023 (<https://bit.ly/3RCeqFR>)
- [3] Bleicher, I.; Grimm, L.; Wiedenroth, A.: Das Projekt DiB gestaltet das Bahnsystem der Zukunft, SIGNAL+DRAHT 11/2020
- [4] Seidler, E.; Reichert, B.; Kittler, C.: Das bahnbetriebliche IP-Netz als Schlüssel für die Digitalisierung der Schiene, SIGNAL+DRAHT 12/2021
- [5] Behrens, M.; Caspar, M.; Distler, A.; Fries, N.; Hardel, S.; Kreßner, J.; Lau, K.; Pensold, R.: Schnelle Leit- und Sicherungstechnik für mehr Fahrwegkapazität, DER EISENBAHNINGENIEUR 6/2021 (<https://bit.ly/2SIQvjY>)
- [6] Barth, P.; Behrens, M.; Kümmling, M.; Mehnert, S.; Nenke, T.; Pieper, W.; Retzmann, M.; Trinckauf, J.: Innovationskooperation zur LST-Infrastruktur im Digitalen Knoten Stuttgart, SIGNAL+DRAHT 7+8/2022 (<https://bit.ly/3PR8NRF>)
- [7] Drescher, O.: ETCS Level 2 ohne „Signale“ in einem großen Knoten, Deine Bahn 3/2022 (<https://bit.ly/3O4n5i1>)
- [8] Behrens, M.; Eckardt, E.; Kümmling, M.; Loef, M.; Otrzonsek, P.; Schleede, M.; von Schaper, M.-L.; Wanstrath, S.: Auf dem Weg zum Digitalen Knoten Stuttgart: ein Überblick, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2020 (<https://bit.ly/3pyuXfg>)
- [9] nach Lastenheft 416.0505 für TK-Anwendungen
- [10] nach DB-Lastenheft DLST.038
- [11] Behrens, M.; Eschbach, A.; Kampschulte, B.; Paltian, A.; Schöppach, M.; Wiedenroth, A.: Robuste Leit- und Sicherungstechnik im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 11/2022 (<https://bit.ly/3hiu0ZL>)
- [12] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugnachrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart, DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2023

AUTOREN | AUTHORS**Marc Böhm**

Technical Project Management for Stuttgart Digital Node
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart
E-Mail: marc.boehm@deutschebahn.com

Alexander Paltian

CCS/Interlocking/ETCS/ATO principals
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart
E-Mail: alexander.paltian@deutschebahn.com

Martin Schleede

Technical Project Management for Stuttgart Digital Node
DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH
Anschrift / Address: Röpplstraße 17, D-70191 Stuttgart
E-Mail: martin.schleede@deutschebahn.com

Benjamin Voigt

Operational testing and commissioning procedures for digital interlockings
DB Netz AG
Anschrift / Address: Hammerbrookstraße 44, D-20097 Hamburg
E-Mail: benjamin.voigt@deutschebahn.com

Matthias Winckler

System responsibility for transmission technology and special technology
DB Netz AG
Anschrift / Address: Adam-Riese-Straße 11-13, D-60327 Frankfurt am Main
E-Mail: matthias.winckler@deutschebahn.com

RAILWAY DIAGNOSTIC AND MONITORING CONFERENCE 2023

20TH - 21ST APRIL 2023

CONTINENTAL PARK HOTEL, LUCERNE 

**REGISTER
NOW**



REGISTER NOW AT:
WWW.EURAILPRESS.DE/EVENTS



**Eurail
press**