Das bahnbetriebliche IP-Netz als Schlüssel für die Digitalisierung der Schiene

The railway IP network as the key for the digitalisation of the railways

Eike Seidler | Brenda Reichert | Christian Kittler

Um die Ziele des Klimaschutzplans der Bundesregierung bis 2050 erreichen zu können, ist – als einer von mehreren wesentlichen Ansatzpunkten – eine Verkehrsverlagerung auf die Schiene notwendig [1]. Maßgebliche Voraussetzung dafür ist der Ausbau von Kapazitäten im deutschen Schienennetz. Dies kann neben dem Streckenausbau auch durch eine optimierte Auslastung des Schienennetzes erreicht werden. Die Digitalisierung ist dafür eine unabdingbare Maßnahme. Im Rahmen des Programms „Digitale Schiene Deutschland" (DSD) bündelt die Deutsche Bahn AG (DB) innovative Technologien, wie das European Train Control System (ETCS), Digitale Stellwerke (DSTW), Automatic Train Operation (ATO) und das integrierte Leit- und Bediensystem (iLBS) [2]. Damit diese Technologien flächendeckend zur Verfügung gestellt werden können, ist ein bundesweites Datentransportnetz notwendig. Hierfür wird derzeit durch die DB Netz AG erstmalig ein bahnbetriebliches IP-Netz (kurz bbIP) realisiert. bbIP schafft somit die Grundlage für zukünftige Digitalisierungsvorhaben und deckt die Nachfrage nach hochverfügbaren Datenübertragungsmöglichkeiten für bahnbetriebliche Technologien ab (Bild 1).

1 bbIP als technisches Transportnetz

Ziel des Projektes bbIP ist es, eine effiziente, wirtschaftliche und technologische Basis für die Kommunikationsbedarfe der DSD-Anwendungen zu schaffen (unter DSD-Anwendungen werden im vorliegenden Beitrag die digitalen Technologien (wie z. B. ETCS) verstanden, welche das bbIP-Netz nutzen). Um diese Bedarfe erfüllen zu können, werden über das bbIP-Netz auf einer bestehenden Glasfaserinfrastruktur Datenpakete via IP-Technik transportiert. Dies erfolgt in Form von IP-Diensten (die IP-Dienste basieren auf marktüblichen Standards wie MPLS, Multiprotocol Label

One of the key approaches to achieving the goals of the German federal government's climate protection plan by 2050 involves shifting traffic to the railways [1]. The main prerequisite for this comprises the expansion of the German rail network's capacity. In addition to expanding the routes, this can also be achieved by optimising the rail network's utilisation. Digitalisation is an indispensable measure used to achieve optimisation. Deutsche Bahn AG (DB) has bundled innovative technologies, such as the European Train Control System (ETCS), Digital Interlocking Systems (DSTW), Automatic Train Operation (ATO) and the integrated Control and Operating System (iLBS) in the "Digital Rail Germany" (DSD) program [2]. A national data transport network is necessary, if these technologies are to be made available nationwide. To this end, DB Netz AG is currently implementing its first ever railway IP network (the bbIP for short). The bbIP will therefore constitute the basis for future digitalisation projects and meet the demand for high-availability data transmission options for railway technologies (see fig. 1 for the chain of arguments).

1 The bbIP as technical transport network

The aim of the bbIP project is to create an efficient, economic and technological basis for the communication needs of DSD applications (in this paper, DSD applications are understood to be the digital technologies (such as ETCS) that use the bbIP network). Data packets are transported via the bbIP network along an existing fibre optic infrastructure using IP technology in order to meet these needs. This takes place in the form of IP services (the IP services are based on common market standards such as MPLS, Multiprotocol Label Switching, and VPN, Virtual

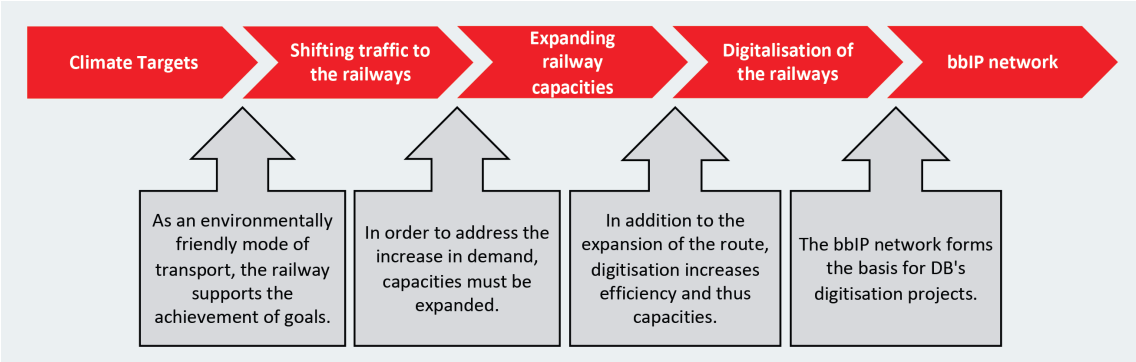

Bild 1: bbIP als Teil der Digitalisierungsstrategie
Fig. 1: The bbIP as part of the digitalisation strategy
Quelle (alle Bilder) / *Source (all fig.)*: Quattron

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG; Quattron Management Consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

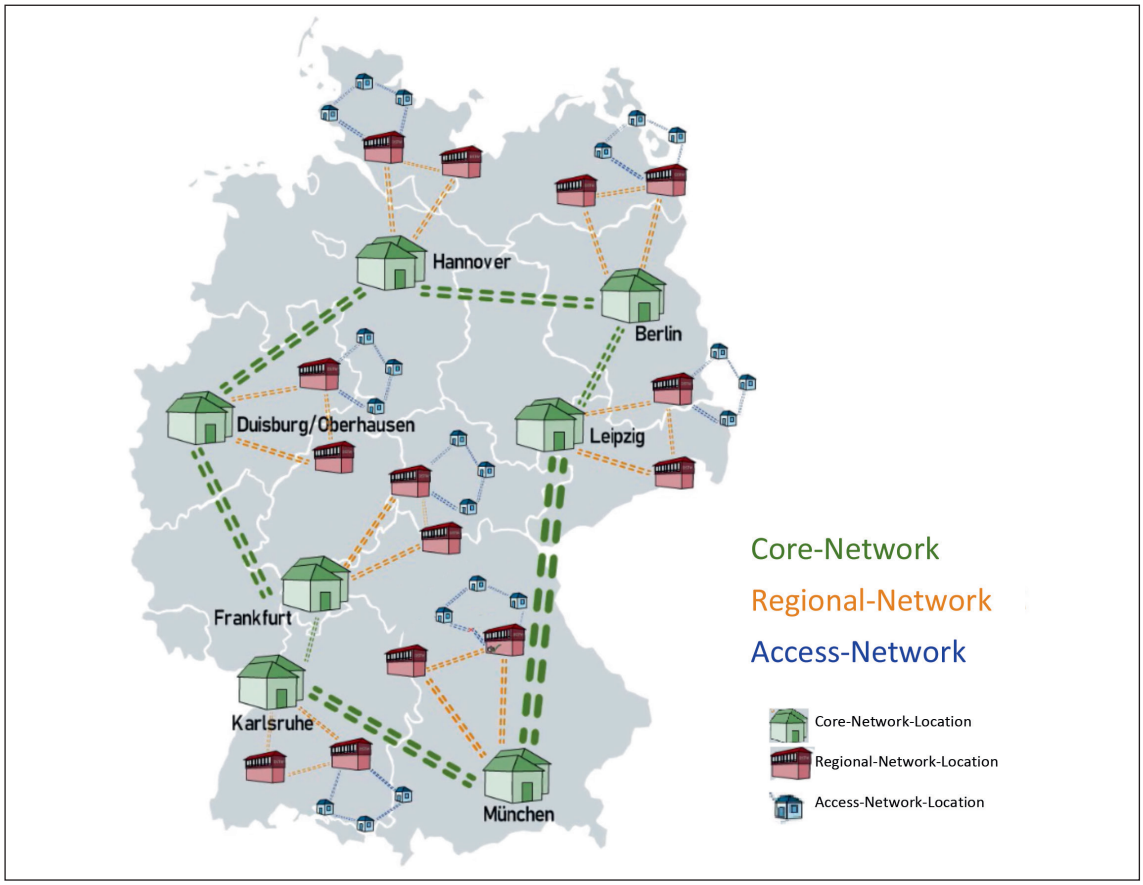

Bild 2: Gliederung des bbIP-Netzes in die drei Netzebenen Kernnetz, Regionales Netz und Zugangsnetz
Fig. 2: The classification of the bbIP network in the three network levels: the core network, the regional network and the access network

Switching, und VPN, Virtual Private Network). Die IP-Dienste stellen für jede Anwendung einen eigenständigen Kommunikationskanal bereit, der exklusiv von der jeweiligen Anwendung zum Datentransport genutzt wird. Dies ermöglicht die Erfüllung der unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen der DSD-Technologien durch das bbIP-Netz. Mittels einer Priorisierung der Datenflüsse werden zum Beispiel sicherheitsrelevante Daten mit höchster Priorität übertragen.

Die IP-Technologie arbeitet generell paketorientiert und unterteilt Daten in Pakete inklusive der zur Übertragung und Vermittlung benötigten Informationen. Die wichtigsten Aufgaben des IP sind die Paketierung, der Transport, das Routing und die Adressierung der Daten.

Um die vielfältigen Anforderungen bahnbetrieblicher Anwendungen bundesweit abdecken zu können, wurde eine hierarchische Struktur des Netzes gewählt. Diese besteht aus drei Netzebenen: Kernnetz, Regionales Netz und Zugangsnetz (Bild 2). Das Zugangsnetz stellt lokal Datenübertragungsdienste für die jeweiligen Anwendungen zur Verfügung. Weiter besteht die Möglichkeit, die Datenpakete über das Regionale Netz und in Folge über das Kernnetz zu zentralen Standorten zu transportieren. Über das Kernnetz werden zudem die redundanten Network Operation Center (NOC) angebunden, welche der zentralen Überwachung und technischen Betriebsführung des Netzes dienen.

In Bild 2 ist zusätzlich zu den drei Netzebenen ersichtlich, dass im bbIP-Netz verschiedene Redundanzmechanismen zum Einsatz kommen. Durch doppelte Kabelwege zwischen den Netzhierarchien sowie georedundante Standorte im Kernnetz, wird den Folgen möglicher Störungen durch äußere Einflüsse entgegengewirkt, wodurch eine hohe Verfügbarkeit des Netzes sichergestellt wird (unter georedundant werden zwei Standorte gleicher

Private Network). The IP services provide an independent communication channel for each application, which is used exclusively by the respective application for data transport. This enables the bbIP network to meet the different communication requirements of the DSD technologies. Prioritising the data flows means, for example, that security-relevant data is transmitted with the highest priority.

IP technology generally works in a packet-oriented manner and divides data into packets including the information required for transmission and switching. The most important tasks of IP are the packetisation, transport, routing and addressing of the data.

A hierarchical network structure has been chosen in order to enable the diverse requirements of railway applications to be met nationwide. This consists of three network levels: the core network, the regional network and the access network (fig. 2). The access network provides local data transmission services for the respective applications. There is also the option of transporting the data packets to central locations via the regional network and subsequently via the core network. The redundant Network Operation Centres (NOC), which are used for the central monitoring and technical management of the network, are also connected via the core network.

In addition to the three network levels, fig. 2 also shows that various redundancy mechanisms are used in the bbIP network. Double cable routes between the network hierarchies and geo-redundant locations in the core network (geo-redundant means two sites of the same function with a minimum distance to each other) counteract the consequences of any possible disruptions caused by external influences, which ensures high network availability. Another measure involves the use of duplicated IP components. This involves the installation and use of COTS

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG; Quattron Management Consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Funktion mit einem Mindestabstand zueinander verstanden). Eine weitere Maßnahme stellt die Verwendung gedoppelter IP-Komponenten dar. Es handelt sich dabei um den Aufbau und die Verwendung von COTS-IP-Komponenten (Commercial off-the-shelf / marktüblich), wodurch die Hardware herstellerunabhängig und kostengünstig im Einkauf ist. Dadurch können auch zukünftige Technologien zeitnah mitvollzogen und kann das Datenübertragungsnetz auch langfristig flexibel weiter ausgebaut und modernisiert werden.

2 Entwicklung des bbIP-Netzes

Der Aufbau des IP-Netzes erfolgt in mehreren Entwicklungsschritten. Nach einer initialen Konzipierung des Netzdesigns und anschließenden Testaktivitäten zur Funktionalität findet die bauliche Realisierung in der Fläche statt. Anschließend wird die Betreibbarkeit des Netzes nachgewiesen. Für die Inbetriebnahme im Eisenbahnverkehr spielen zudem die Genehmigung des Systems sowie der Nachweis der Sicherheit eine zentrale Rolle (unter Sicherheit ist im vorliegenden Artikel ausschließlich Security zu verstehen, da bbIP keinen Beitrag zur Safety leistet).
Für das bbIP-Netz wurde im ersten Schritt auf Basis möglicher Anforderungen von zukünftigen DSD-Anwendungen das Netzdesign konzipiert. Aufgrund der Einstufung des bbIP-Netzes als Kritische Infrastruktur gelten zusätzliche Anforderungen hinsichtlich der Entwicklung des Netzes. In diesem Zuge wurden Vorgaben für die bauliche Realisierung sowie den Betrieb des bbIP-Netzes unter Berücksichtigung der IT-Security festgelegt. Weiterhin wurden gemäß den Anforderungen an das System die notwendigen COTS-IP-Komponenten beschafft.
Aufbauend auf der Designkonzipierung, wurden in einer Laborreferenzumgebung erste Tests des Systems bbIP durchgeführt. Optimierungspotenziale, welche im Rahmen der Tests festgestellt wurden, ermöglichten eine frühzeitige Anpassung des Designkonzeptes, damit anschließend das bbIP-Netz baulich finalisiert werden konnte. Unter realen Bedingungen konnten daraufhin die Funktionalität und Betreibbarkeit der Datenübertragung in Feldtests nachgewiesen werden.
Ein weiterer wesentlicher Aspekt während der gesamten Entwicklung ist die Genehmigung des bbIP-Netzes durch die zuständige Aufsichtsbehörde. Aufgrund des innovativen Charakters von bbIP im Bereich der Telekommunikation werden herkömmliche Genehmigungsprozesse aus der Leit- und Sicherungstechnik in enger Abstimmung mit dem Eisenbahn-Bundesamt adaptiert. Der Genehmigungsprozess ist Bestandteil der gesamtheitlichen Entwicklung des bbIP-Netzes und setzt damit den finalen Meilenstein zur erfolgreichen Inbetriebnahme.

3 bbIP als vollumfängliches IP-Netz für zukünftige DSD-Anwendungen

Um bbIP als ausbaufähige Kommunikationsbasis hinsichtlich zukünftiger Anforderungen langfristig zu etablieren, bedarf es eines flexiblen, skalierbaren Netzes. Im Rahmen der geografischen Skalierbarkeit werden Erweiterungsszenarien definiert. Diese Szenarien werden derart ausgearbeitet, dass ein flächendeckender Rollout ermöglicht wird. So wird etwa die Anbindung eines neuen Zugangsnetzes an das Bestandsnetz vielfach auftreten, z. B. durch die Bereitstellung der Datenübertragung für weitere DSTW.
Neben der geografischen Skalierung kommt zum einen die Erhöhung der Kapazität durch höhere Bandbreiten und zum anderen die Steigerung der digitalen Souveränität mithilfe von Multi-

(commercial-off-the-shelf) IP components, which means that the hardware is manufacturer-independent and cost-effective to purchase. This means that future technologies can also be implemented promptly and the data transmission network can be flexibly expanded and modernised in the long term.

2 Developing the bbIP network

The construction of the IP network takes place in several development steps. After the initial network design concept and the subsequent functionality testing, the structural implementation takes place in the area. The network's operability is then verified. Approval of the system and proof of safety (in this article, safety refers exclusively to security, as bbIP does not contribute to safety) also play a central role in the commissioning for railway traffic.
The network design for the bbIP network was initially conceived on the basis of the possible requirements of future DSD applications. The development of the bbIP network is subject to additional requirements due to its classification as critical infrastructure. The specifications for the structural implementation and operation of the bbIP network were specified within this context, while taking IT security into account. Furthermore, the necessary COTS IP components were also procured in accordance with the system requirements.
The first tests of the bbIP system were carried out in a laboratory reference environment based on the design concept. Optimisation potentials, which were determined during the course of the tests, made it possible to adapt the design concept at an early stage so that the bbIP network could then be structurally finalised. Proof of the functionality and operability of the data transmission could then be provided in field tests under real conditions.
Another key aspect throughout the development involved the approval of the bbIP network by the responsible supervisory authority. Due to the innovative nature of bbIP in the field of telecommunications, the existing approval processes for control and safety technology are being adapted in close cooperation with the Federal Railway Authority. The approval process is part of the overall development of the bbIP network and thus constitutes the final milestone for successful commissioning.

3 The bbIP as a fully comprehensive IP network for future DSD applications

The establishment of the bbIP as an expandable communication base with regard to future requirements over the long term requires a flexible, scalable network. Expansion scenarios are defined as part of the geographical scalability. These scenarios are worked out so as to make a comprehensive rollout possible. The new access network will frequently connect with the existing network, for example by means of the provision of data transmissions for further digital interlocking systems.
In addition to geographical scaling, increasing capacity through higher bandwidths and increasing digital sovereignty with the help of multi-vendor capabilities (use of components from different manufacturers in suitable combination) are also particularly important.
Data transmissions for future digital applications can be ensured by means of a flexibly scalable IP network. Further innovative applications will use the bbIP network in the future in addition to the first application, i.e. the DSTW as an integrative inter-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG; Quattron Management Consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

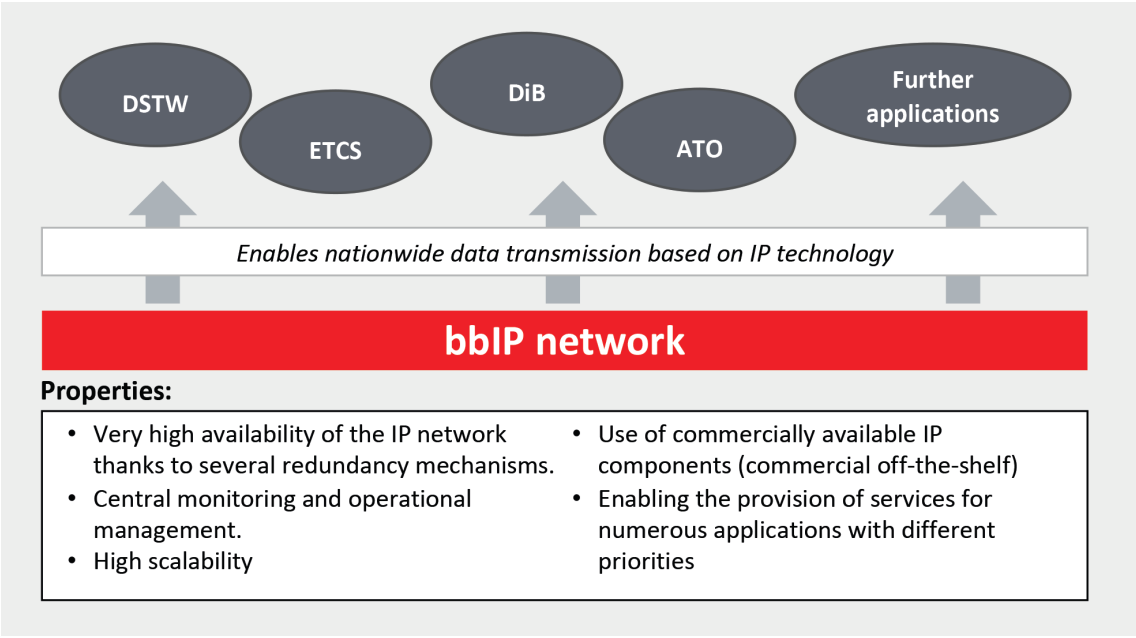

Bild 3: Zusammenfassung der Eigenschaften von bbIP sowie zukünftige Anwendungsmöglichkeiten des Netzes
Fig. 3: A summary of the properties of the bbIP and the options for future application

Vendor-Fähigkeiten (= Nutzung von Komponenten verschiedener Hersteller in geeigneter Kombination) eine besondere Bedeutung zu. Durch das flexibel skalierbare IP-Netz kann die Datenübertragung für zukünftige digitale Anwendungen sichergestellt werden. Zusammen mit der ersten Anwendung – DSTW als integratives Stellwerkssystem – werden weitere innovative Anwendungen in Zukunft das bbIP-Netz nutzen. Dazu zählen unter anderem ein einheitliches neues Leit- und Bediensystem (Design integrierter Bedienplatz, kurz DiB), ein nahtlos grenzübergreifendes Zugbeeinflussungssystem (ETCS) als auch die Automatisierung von Fahrzeugsystemen bis hin zum autonomen Fahren (ATO) (Bild 3).
Der Einsatz dieser innovativen, bahnbetrieblichen Anwendungen auf Basis des bbIP-Netzes wird eine Steigerung der Kapazität im deutschen Schienennetz ermöglichen. So sorgt beispielsweise die Technologie ATO dafür, dass die Reaktionszeiten zwischen Übermittlung und Umsetzung von Fahrbefehlen die Zugfolgezeiten verkürzt. Daraus resultiert ein effizienterer Verkehrsfluss, der wiederum zu einer Steigerung der Streckenkapazität und der Pünktlichkeit des Zugverkehrs führt.

4 Fazit

Das bahnbetriebliche IP-Netz ist der Schlüssel für die Bereitstellung zukunftsweisender Technologien durch die DB Netz AG und ermöglicht damit die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Systems Bahn. Durch die Förderung und den proaktiven Aufbau von Schlüsseltechnologien, wie bbIP, wird die Digitalisierung der Bahn vorangetrieben und die angestrebte Verkehrsverlagerung auf die Schiene maßgeblich beschleunigt. ■

locking system. These include a uniform new control and operating system (the integrated operating station design, or DiB for short), a seamless cross-border train control system (ETCS) and the automation of vehicle systems through to autonomous driving (ATO) (fig. 3).
The use of these innovative, railway applications based on the bbIP network will enable an increase in capacity on the German rail network. For example, ATO technology has ensured that the reaction times between the transmission and implementation of drive commands shorten the time intervals between trains. This has resulted in a more efficient traffic flow, which in turn has led to an increase in line capacity and train punctuality.

4 Conclusion

The railway IP network is the key to the provision of future-oriented technologies by DB Netz AG and thus enables the efficiency and quality of the rail system to be improved. The promotion and proactive development of key technologies such as bbIP is advancing the digitisation of the railways and significantly accelerating the desired shift of traffic to the railways. ■

LITERATUR | LITERATURE
[1] Umweltbundesamt (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, S. 62
[2] Deutsche Bahn AG (2021): Die Zukunft der Mobilität liegt auf dem Gleis (https://digitale-schiene-deutschland.de/de/digitale-schiene)

AUTOREN | AUTHORS

Eike Seidler, Dipl. Ing. (FH), M. Sc.
Senior Projektleiter / *Senior Project Manager*
DB Netz AG
Anschrift / *Address*: Mainzer Landstraße 201-203, 60326 Frankfurt am Main
E-Mail: eike.seidler@deutschebahn.com

Brenda Reichert, M. Sc.
Beraterin / *Consultant*
Quattron Management Consulting
Anschrift / *Address*: Schaumainkai 87, D-60596 Frankfurt am Main
E-Mail: brenda.reichert@quattron.com

Christian Kittler, M. Sc.
Junior Berater / *Junior Consultant*
Quattron Management Consulting
Anschrift / *Address*: Schaumainkai 87, D-60596 Frankfurt am Main
E-Mail: christian.kittler@quattron.com

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG; Quattron Management Consulting / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH