

Toolgestützte Planung und Optimierung von Telekommunikationsnetzen

Tool supported planning and optimisation of telecommunication networks

Bernd Halle | Hamza Larhib | Tim Herbstrith

Automatisierung und Digitalisierung stehen bei der Deutschen Bahn AG (DB) auf der Agenda im Vordergrund. Beim Projekt „Digitale Schiene Deutschland“ geht es u. a. um die Umstellung auf das System ETCS (European Train Control System). Im digitalen Schienennetz wird die Leit- und Sicherungstechnik (LST) auf Glasfasern, Funk und Sensoren basieren. Dafür muss auch das bahneigene Telekommunikationsnetz modernisiert werden: vom heutigen GSM-R-Standard (Global System for Mobile Communications – Rail) auf das zukünftige Bahnfunksystem FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) auf 5G-Basis. Für die Netzanalyse und -planung sowie für strategische Netzausbauszenarien kommt auch das Tool „NetWorks“ des Managementberatungsunternehmens Detecon zum Einsatz.

1 Vorgeschichte

Es war knapp drei Wochen vor dem G20-Gipfel in Hamburg im Juli 2017. Extremistische Täter steckten in mehreren Bundesländern Bahnanlagen in Brand. Züge fielen aus, es kam zu zahlreichen Verspätungen. Im Raum Leipzig und Halle gab es Brandanschläge auf Kabelschächte und elektronische Stellwerke, die auch die Glasfaserinfrastruktur betrafen. Die Folge: Die Bahn musste den gesamten Zugverkehr stoppen.

Anfang Oktober 2022 hieß es in Berlin: Endstation Hauptbahnhof. Auch hier lief nach einem Anschlag auf Glasfaserkabel Richtung Nord- und Westdeutschland nicht mehr viel. Unbekannte hatten in der Nähe der Bahnhöfe Herne und Berlin-Hohenschönhausen Glasfaserkabel absichtlich durchtrennt, die für den Zugverkehr unverzichtbar sind. Die zerstörten Leitungen dienten als Verbindungen im GSM-R-Funksystem, u. a. auch Backbone-Kabel. Durch den Ausfall konnte die Leitzentrale Züge nicht mehr erreichen, weshalb die DB den Zugverkehr regional stoppen musste.

Kurz vor Weihnachten 2022 haben Unbekannte in zwei Stellwerken in Essen mehrere Kabel durchschnitten, zum Glück mit nur geringen Auswirkungen auf den Bahnverkehr. Zwar musste die DB die Strecke sperren, konnte sie aber nach kurzer Zeit wieder in Betrieb nehmen.

2 „NetWorks NG Transport“ für Netzanalyse, -planung und -optimierung

Für die Analyse der durch Sabotage entstandenen Ausfälle – die sich auf dem rund 36000 Streckenkilometer langen Schienennetz der Bahn kaum gänzlich verhindern lassen – kommt auch die umfassende Software „NetWorks NG Transport“ der Management- und Technologieberatung Detecon zum Einsatz. Mit diesem Werkzeug lassen sich Telekommunikationsnetze wie das

Automation and digitalisation head the agenda at Deutsche Bahn AG (DB). The “Digital Rail Germany” project includes the changeover to ETCS (European Train Control System) control technology. The control and safety technology in the digital rail network will be based on fibre optics, radios and sensors. The railroad telecommunications network must be modernised: from today’s GSM-R standard (Global System for Mobile Communications – Rail) to the FRMCS railroad radio system (Future Railway Mobile Communication System) based on 5G. For network analysis and planning, as well as for strategic network expansion scenarios, the “NetWorks” tool from the management consulting company Detecon is applied.

1 Background

It was just three weeks to the G20 summit in Hamburg in July 2017. Extremists had set fire to railroad facilities in several German states. Trains had been cancelled, and there were numerous delays. There were arson attacks on the cable ducts and electronic signal boxes in the areas around Leipzig and Halle that also affected the fibre optic infrastructure. The attacks forced the railroad company to stop all train traffic.

At the beginning of October 2022, passengers in Berlin were told that the Central Station was the end of the line. Here as well, operations more or less came to a standstill after an attack on the fibre optic cables in the directions of northern and western Germany. Unknown persons had deliberately cut the fibre optic cables essential for train operations near the stations in Herne and Berlin-Hohenschönhausen. The destroyed backbone cables had connected various elements in the GSM-R radio system, amongst other things. Their loss meant that the control centre could no longer communicate with the trains, thereby forcing DB to terminate rail traffic in the region.

Shortly before Christmas 2022, unknown persons cut several cables in two signal boxes in Essen. Fortunately, this disruption only had a minor impact on the train service. Even though DB had to close the line for a few hours, it was able to restore full operations after a short time.

2 “NetWorks NG Transport” for network analysis, planning and optimisation

The comprehensive “NetWorks NG Transport” software from the Detecon management and technology consultancy is also used to analyse any disruptions caused by sabotage: acts that

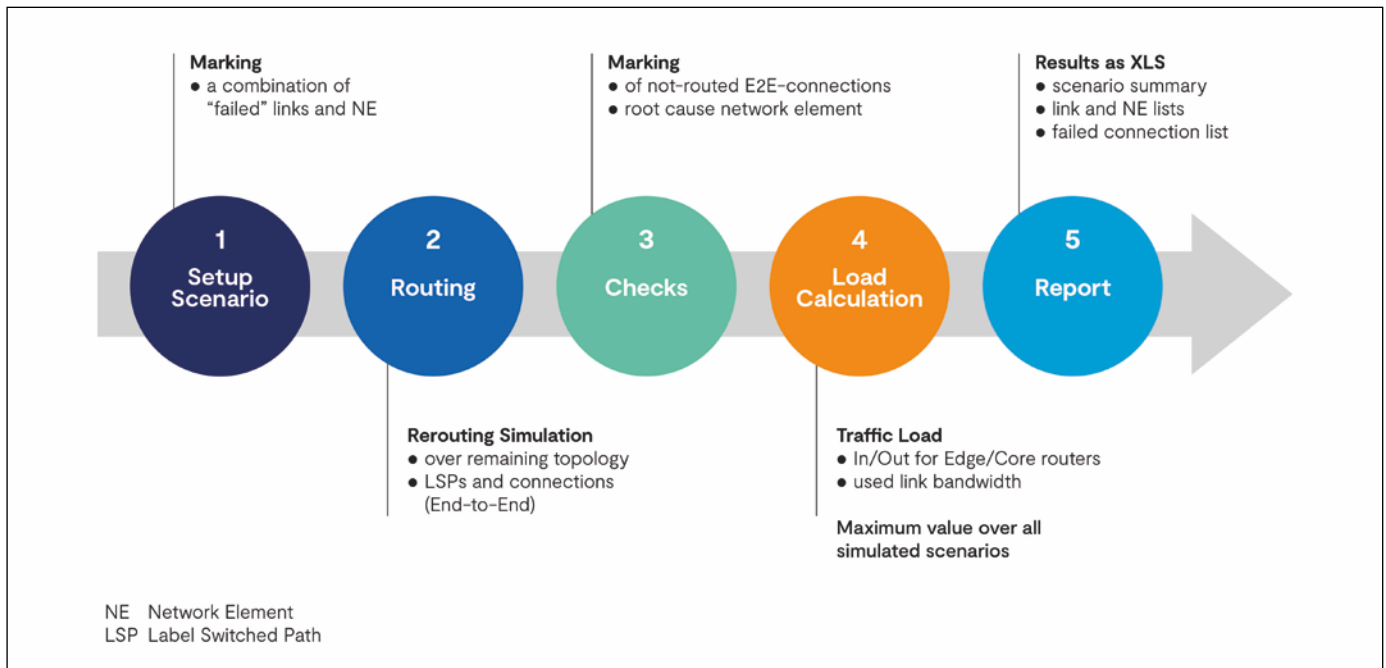


Bild 1: Der Ablauf einer Ausfallsimulation innerhalb des Planungstools kann in fünf Blöcke unterteilt werden. Die Ergebnisse werden als Grafiken und Listenreports für die weitere Auswertung bereitgestellt.

Fig. 1: The process of failure simulation within the planning tool can be described in five major blocks. The results are provided as graphics and reports for further detailed investigation.

bahninterne Netz planen, analysieren und optimieren. Im Fall des Anschlags im Zusammenhang mit dem G20-Gipfel sollte im Tool simuliert werden, wie es zu dem großflächigen Ausfall kommen konnte und wie sich dies zukünftig durch geeignete Netzkonfigurationsänderungen verhindern lassen könnte. Denn schließlich sind es, neben der Sicherheit und Zuverlässigkeit, die hohen Verfügbarkeitsanforderungen an das landesweite Datentransportnetz, die Ausfälle durch Sabotage oder durch bei Bauarbeiten entstandene Durchtrennungen von Kabeln durch redundante Wegführungen der Backbone-Verbindungen und ausreichende Netzressourcen vermeiden sollen. Die Simulation sollte sowohl die definierte Netzarchitektur, die implementierten Redundanzregeln als auch die benutzte Backbone-Netztopologie auf ihre Robustheit bzw. mögliche Schwachstellen und Verbesserungspotenziale überprüfen. Mit dem Werkzeug lassen sich die Verbindungen mit ihren Ende-zu-Ende-Wegen über solche Netze sowie Einzel- und Mehrfachausfälle von Leitungsabschnitten und / oder Netzknoten simulieren.

Die Methodik für die Simulation von Ausfällen (Bild 1) umfasst fünf große Schritte. Auf Grundlage der Basisdaten, die sämtliche Netzelemente, Knoten und Links sowie Strecken enthalten, lässt sich durchrechnen, was bei dem Ausfall einer oder mehrerer Komponenten passiert. Im Fall des großflächigen Ausfalls 2017 wurde mit verschiedenen, vordefinierten Netzszenarien analysiert, wie es trotz der verfügbaren Redundanzen im Netzwerk zu den massiven Ausfällen hätte kommen können. Es zeigte sich, dass bis zu neun Übertragungstrecken ausfallen konnten, ohne dass sich dies auf die Kommunikation und den Zugverkehr auswirken hätte (siehe hierzu Netzarchitekturschema in Bild 2).

Eine kritische Grenze wurde bei 13 Links erreicht, da diese topologiebedingt keine Ersatzwege mehr auf physikalischer Ebene gewährleisten konnten. Ab diesem Zeitpunkt sind 20 % aller Backbone-Verbindungen ausgefallen. Ein Ereignis, das nur bei einem massiven Sabotageakt möglich ist und sich daher bei einem so

are virtually impossible to completely prevent in light of the approximately 36,000 kilometres of railroad operated by DB. The software tool can be used to plan, analyse and optimise telecommunications NetWorks such as the railroad company's internal network. The tool has been used in simulations to determine how such wide-area failures could have occurred at the G20 summit and how suitable network configuration changes could prevent the recurrence of such an incident in the future. Ultimately, the high availability essential for the nationwide data transport network means that failures caused by sabotage or by cables being cut during construction work must be compensated by means of the redundant routing of the backbone connections and adequate network resources. The simulation was intended to check the defined network architecture, the implemented redundancy rules and the applied backbone network topology for its robustness or any possible weaknesses and potential room for improvement. The tool can be used to simulate connections with end-to-end paths via these NetWorks and single and multiple failures of any link sections and / or network nodes.

The methodology for the simulation of failures (fig. 1) comprises five major steps. It is possible to calculate what will happen, if one or more components fail using the basic data containing all the network elements, nodes, links and routes. In the case of the large-scale stoppage in 2017, several predefined network scenarios were used to analyse how the massive outages could have occurred despite the available redundancies in the network. It was determined that up to nine transmission links could have failed without affecting communications and rail operations (see the diagram in fig. 2).

A critical threshold was reached at 13 links where failover paths at the physical level could no longer be guaranteed owing to their topology. At this point, 20 % of all the backbone connections failed. An event of this scope is possible solely as

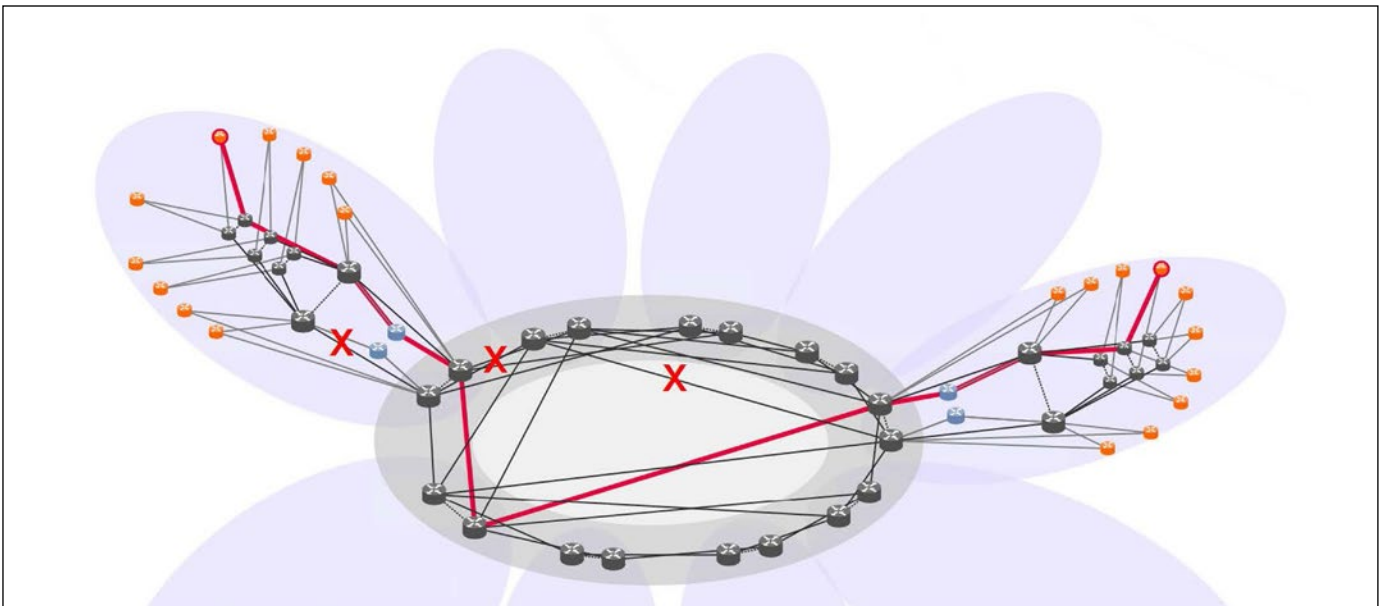


Bild 2: Ausfallsimulation: Eine Ende-zu-Ende-Verbindung wird im Regelfall auf dem kürzesten Weg über das Backbone-Netz geroutet. Bei Link- oder Knotenausfällen wird ein Alternativweg genutzt. Mittels Ausfallsimulation wird untersucht, ob unter bestimmten Konstellationen das Netz noch ausreichend Kapazitäten für eine Ausfallkompensation bereitstellt.

Fig. 2: An end-to-end connection is routed usually along the shortest path over the backbone network. An alternative path is allocated in case of a link or node failure. Using the failure simulation, it is investigated whether under certain circumstances the network still provides sufficient capacity for compensating the outage.

großen und komplexen Kommunikationsnetz nicht mit vertretbarem Aufwand komplett verhindern lässt.

Fazit: Der Grund für den Ausfall 2017 war nicht auf eine unzureichende Netzplanung, sondern auf die Schwere des Anschlags zurückzuführen. Trotzdem setzen Netzplaner alles daran, dass es nicht zu derart massiven Ausfällen kommen kann. Allerdings wäre die weitere Erhöhung der Ausfallsicherheit eines solchen großen Netzes mit unvergleichlich höheren Investitionen in die Infrastruktur verbunden.

3 Umstieg von GSM-R auf FRMCS

Diese durch Sabotage verursachten Vorfälle zeigen, wie sehr der reibungslose Bahnbetrieb auch davon abhängt, wie das bahneigene Telekommunikationsnetz funktioniert und die einzelnen Komponenten und Plattformen zusammenwirken. Nicht zuletzt steht dieses Netz inmitten eines technischen Wandels. Das speziell für die Bahn vorgesehene digitale GSM-R hatte Anfang der 2000er Jahre den Analogfunk bei der Bahn größtenteils abgelöst. Bis dato basiert das Funknetz der Bahn weitgehend auf diesem Standard, der im öffentlichen Mobilfunknetz schon vor einigen Jahren von UMTS, dann von LTE und aktuell durch 5G abgelöst wurde.

Das GSM-R-Netz der DB versorgt mit nahezu 4000 Basisstationen rund 33 000 Streckenkilometer (Stand: 2021). Mehr als 60 000 Nutzer sind registriert (Quelle: DB AG). GSM-R bietet einige bahnspezifische Funktionen, die es beim klassischen GSM nicht gibt. Unter anderem lassen sich Gruppenanrufe durchführen und dadurch viele Empfänger mit gleichartigen Funktionen – etwa Fahrdienstleiter oder Disponenten – gleichzeitig erreichen. GSM-R ist gemeinsam mit ETCS grundlegender Bestandteil des European Rail Traffic Management System (ERTMS).

Die DB unterhält mit 13 europäischen GSM-R-Betreibern Roaming-Abkommen. In den UIC-Arbeitsgruppen NMG (GSM-R Net-

a consequence of a massive act of sabotage and cannot be completely prevented with reasonable efforts in such a large and complex communications network.

Conclusion: the 2017 outage was not due to inadequate network planning, but to the severity of the attack. Nevertheless, network planners are doing everything possible to prevent such massive failures from occurring again, albeit that further increasing the resilience of such a large network would require a huge investment in the infrastructure.

3 Changeover from GSM-R to FRMCS

These incidents triggered by sabotage revealed how much smooth rail operations also depend on the way the railroad company's own telecommunications network functions and how the individual components and platforms interact. And these factors are currently undergoing a technological change. Digital GSM-R, which was specifically designed for railway operators, replaced analogue radio at the beginning of the 2000s. To date, the railroad's radio network has been based largely on this standard, which was superseded in the public mobile network several years ago by UMTS, then by LTE and currently by 5G.

The DB GSM-R network and its almost 4,000 base stations serve approximately 33,000 kilometres of lines (status: 2021). More than 60,000 mobile subscribers are registered (source: DB AG). GSM-R offers several railway-specific functions that are not available in regular GSM. They include the capability to make group calls communicating with a large pool of recipients performing a specific function (such as dispatchers or schedulers) at the same time. GSM-R is a fundamental component of the European Rail Traffic Management System (ERTMS) in conjunction with the ETCS.

DB currently maintains roaming agreements with 13 European GSM-R operators. The NMG (GSM-R Network Manage-

work Management) und ENIR (European Network Integration for Railways) wird die Interoperabilität der Bahngesellschaften koordiniert und so ein nahtloser Funkverkehr über Ländergrenzen hinweg sichergestellt. Maßgeblicher Nutznießer ist der Gütertransport – beispielsweise zwischen Nordsee und Mittelmeer –, bei dem Züge ohne Halt an den Grenzpunkten und Wechsel von Systemtechnik effizient geführt und disponiert werden können. Die Design- und Dimensionierungsregeln für das GSM-R-Overlay-Netz werden maßgeblich mit dem Detecon-Tool NetWorks Mobile umgesetzt. In einem jährlichen Prozess werden die Routing-Pläne und die Netzverschaltungen für inzwischen 19 Länder – von Portugal bis Polen, von Norwegen bis Rumänien – als RDS (Route Data Set) mit verbindlichen Konfigurationsvorschriften herausgegeben. Das ENIR-Netz nutzt dabei exklusiv Ressourcen der einzelnen Bahnunternehmen und stellt ein hochverfügbares und mehrfach redundant ausgelegtes Kommunikationsnetz dar. Die implementierte Architektur zwischen den internationalen, zumeist doppelt ausgelegten Netzknoten erlaubt trotz der eingeschränkten Vermaschung eine Mehrwegeführung für Signalisierung, Sprache und Daten. Im Bild 3 ist eine Kommunikationsbeziehung und ihr Regelwegrouting zwischen den Niederlanden und Italien dargestellt. So könnte das ein Güterzugführer zwischen Rotterdam, Duisburg, Basel und Genua nutzen.

ment) and ENIR (European Network Integration for Railways) UIC working groups coordinate the interoperability of railroad companies and ensure seamless radio traffic across national borders. The primary beneficiary is freight transport – between the North Sea and the Mediterranean, for instance – as trains can be efficiently operated and scheduled without stopping at border-crossing points and changing system technology. The design and dimensioning rules for the GSM-R overlay network have been realised largely using the Detecon's NetWorks Mobile tool. Routing plans and network interconnections for 19 countries (from Portugal to Poland, Norway to Romania) are currently issued as RDS (route data sets) with binding configuration rules during an annual process. The ENIR network makes exclusive use of resources from the individual railroad companies and provides a high-availability communication network with multiple redundancies. Despite the limited meshing, the architecture implemented between the international network nodes, most of which have a geo-redundant design, allows multipath routing for signalling, voice and data. Fig. 3 depicts a communication relationship and the default routing between the Netherlands and Italy that could be used by a freight train operator between Rotterdam, Duisburg, Basel and Genoa.

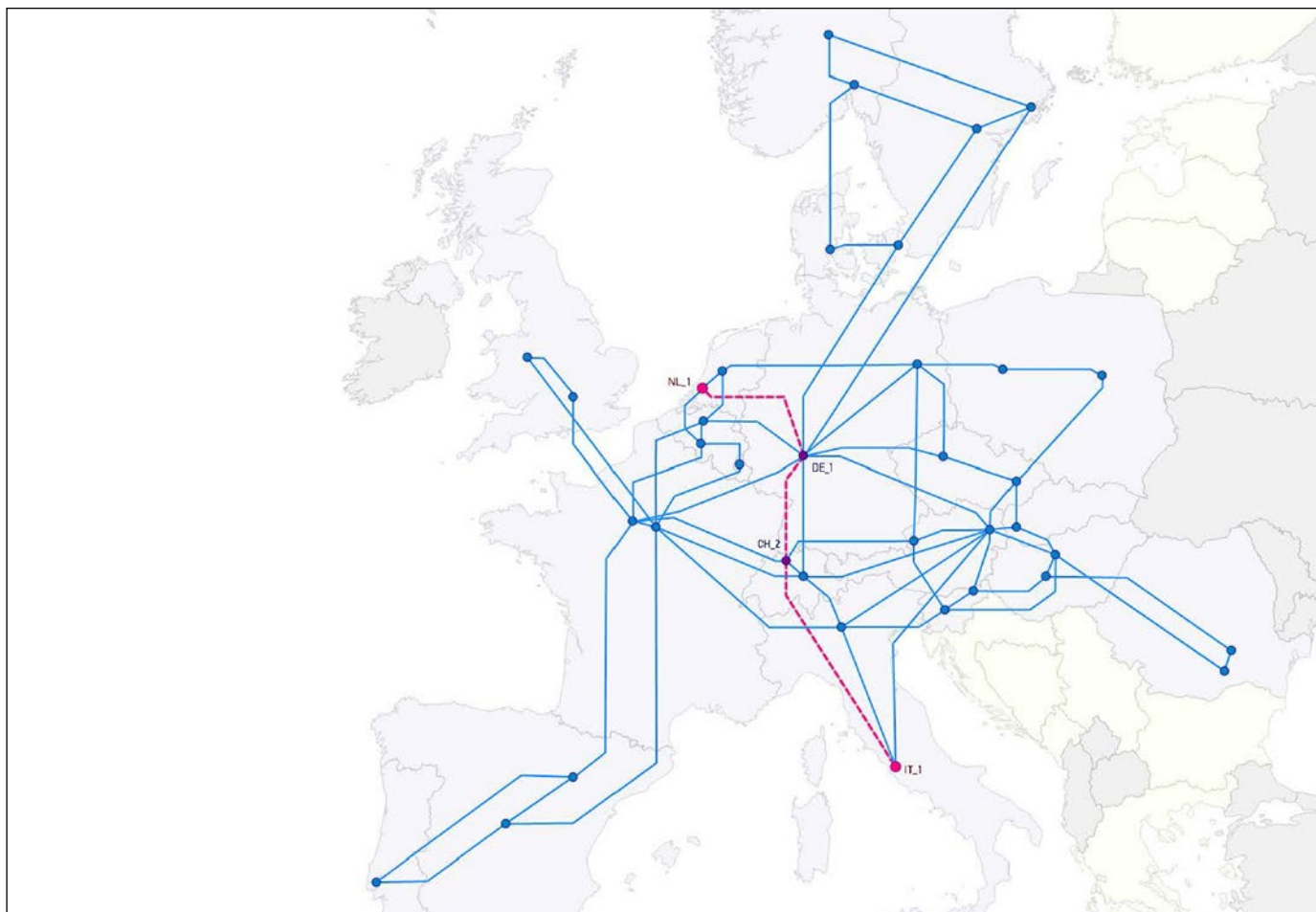


Bild 3: GSM-R-Overlay-Netz: Roaming zwischen den Bahnunternehmen erlaubt GSM-R-Nutzern, wie z. B. Zugführern eines Transportunternehmens, eine nahtlose Kommunikation ohne Stopps von der Start- zur Zielstation. Das Konzept des Alternativroutings bietet Ersatzwege im Falle von Link- oder Knotenausfällen.

Fig. 3: Roaming between railway companies allows a seamless communication without stops for GSM-R users like train operators of a cargo company between origin and destination. The concept of alternative routing provides fail-over paths in case of link or node outages.

Da GSM-R durch die Industrie nur noch bis 2035 gesichert unterstützt wird [1] und neuere Standards wie 5G mehr Funktionen, einen höheren Datendurchsatz, ein stabileres Netz und mehr Sicherheit ermöglichen, wird GSM-R weltweit durch das auf 5G basierende Nachfolgesystem FRMCS abgelöst. 5G wird den Datenaustausch zwischen Zug und Infrastruktur in Echtzeit oder echtzeitnah ermöglichen und damit die Grundlage für das digitale und zunehmend automatisierte Bahnsystem schaffen. Die fortschreitende Digitalisierung schraubt die Anforderungen an die unterstützende Telekommunikation besonders hinsichtlich der benötigten Breitbandnetze in die Höhe. Durch die Vielzahl der Anwendungen, die eine zuverlässige, schnelle und störungsfreie Kommunikationsplattform benötigen, werden große Bandbreiten und kleine Latenzen – also Verzögerungen in der Signalübertragung – benötigt, die GSM-R nicht leisten kann. Zwar wurden die für GSM-R genutzten Systeme und Applikationen immer wieder technisch angepasst, aber die Grenzen der Weiterentwicklung sind erreicht.

FRMCS bedeutet einen deutlichen Gewinn an Standardisierung und schafft mehr Flexibilität für die künftigen digitalen Anwendungen. Allerdings muss genau definiert werden, welche Vermittlungstechnologien und welche Applikationsebenen genutzt werden sollen. Als besondere Herausforderung kommt auf die Bahnbranche die Koexistenz von GSM-R und FRMCS zu, da eine solche grundlegende Änderung nicht von einem Tag auf den anderen umgesetzt werden kann.

Die DB plant, FRMCS ab 2026 bis 2035 schrittweise einzuführen. Als Nachfolger von GSM-R wird FRMCS dem Zugfunk dienen, sowohl für Sprach- als auch Datenkommunikation. Der neue Zugfunk-Standard bietet unter anderem den Vorteil, dass aufgrund der durchgehend verwendeten IP-Technik keine inhaltlichen Datenkonvertierungen zwischen den Kommunikationsendpunkten mehr notwendig sind und dadurch sehr kurze Datenlaufzeiten erreicht werden (Bild 4).

4 ETCS vereinfacht Signaltechnik in Europa

Der 5G-Zugfunk ist auch Grundlage des zukünftigen ETCS, ein Zugbeeinflussungssystem und grundlegender Bestandteil des einheitlichen europäischen Eisenbahnverkehrsleitsystems ERTMS, mit dem die Transeuropäischen Netze betrieben und gesteuert werden. ETCS soll langfristig die über 20 verschiedenen Zugbeeinflussungssysteme in Europa ablösen. Und ERTMS ist die Grundlage für den langfristig geplanten Automatischen Zugbetrieb (Automatic Train Operation, ATO) und erhöhte Netzwerksicherheit.

Die Standardisierung ermöglicht zukünftig eine starke Harmonisierung der signaltechnischen Ausrüstung der Züge in den transeuropäischen Netzen und eine Vereinheitlichung der Technik. So betreibt die DB Netz AG derzeit rund 2500 Stellwerke, die technisch auf unterschiedlichem Stand sind – vom mechanischen Stellwerk aus Kaisers Zeiten bis hin zum modernen Digitalen Stellwerk (DSTW). Um die Zuverlässigkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit der LST zu erhöhen, wird die Bahn frühere Stellwerkstypen, vorrangig nicht ETCS-fähige Stellwerkbauformen, ablösen.

Vor diesem Hintergrund der technischen Veränderungen der europäischen Zugleitsysteme und Funknetze kommt das Netzplanungswerkzeug „NetWorks NG Transport“ für die strategische Planung der aktiven und passiven Transportnetzkomponenten zum Einsatz. Das Tool bietet einen detaillierten Überblick über die Netzstruktur und das Zusammenwirken der verschiedenen Netzschichten. Es optimiert das Routing von Bandbreitenanforderungen, ermittelt die Kapazitäten und die Zuweisung von Netzwerkressourcen und unterstützt die Konfiguration von Geräten. Es lassen sich verschiedene Planungsszenarien erstellen und einfach vergleichen. Die grafi-

Since the industry has only guaranteed support for GSM-R until 2035 [1] and newer standards such as 5G offer more features, higher data throughput, a more stable network and more security, GSM-R will be replaced worldwide by the 5G-based FRMCS. 5G will enable real-time or near-real-time data exchanges between trains and the infrastructure, thereby laying the foundation for a digital and increasingly automated rail system. The progress in digitalisation is driving the demand for supporting telecommunications, especially in terms of the required broadband NetWorks. The many and varied applications that require a reliable, fast and interference-free communications platform necessitate broad bandwidths and low latencies (i.e. delays in signal transmission) that GSM-R cannot provide. Even though the systems and applications used with GSM-R have been repeatedly subjected to technical adaptations, the limits of any further development have now been reached.

FRMCS represents a significant gain in standardisation and assures greater flexibility for future digital applications. However, precise definitions for the switching technologies and the application layers to be used are still lacking. A particular challenge for the rail industry involves the coexistence of GSM-R and FRMCS, as no such fundamental change can be implemented instantly.

DB plans to introduce FRMCS in steps between 2026 and 2035. As the successor to GSM-R, FRMCS will provide both voice and data communications during transmissions among trains. Among other advantages, the new train radio standard and its end-to-end use of IP technology has eliminated the need for any content-related data conversions between the communication end points, thereby significantly shortening data run-times (fig. 4).

4 ETCS is simplifying signal technology in Europe

5G train radio also constitutes the basis of the future ETCS, a train control system and fundamental component of the standard ERTMS that will be used to operate and control the trans-European NetWorks. The long-term intention for ETCS is to replace the more than 20 different train control systems in Europe. Moreover, ETCS constitutes the foundation for automatic train operation (ATO) and the increased network security that is planned in the long term.

In the future, this standardisation will make it possible to greatly simplify the signalling equipment for trains in the trans-European NetWorks and to utilise a common technology. DB Netz AG currently operates around 2,500 interlocking systems employing various technical standards: from mechanical hand gear boxes dating from the days of the Kaiser through to modern digital signal boxes (DSTW). DB will replace its older signal box models (primarily non-ETCS-capable designs), thereby increasing the reliability, quality, and cost-effectiveness of the control and safety technology.

The “NetWorks NG Transport” network planning tool is used within this setting of technical changes in European train control systems and radio NetWorks for the strategic planning of active and passive transport network components. The tool provides a detailed overview of the network structure and the interaction of the various network layers. It optimises the routing of bandwidth requests, determines capacities and network resource allocation and supports equipment configuration. Multiple planning scenarios can be easily created and com-

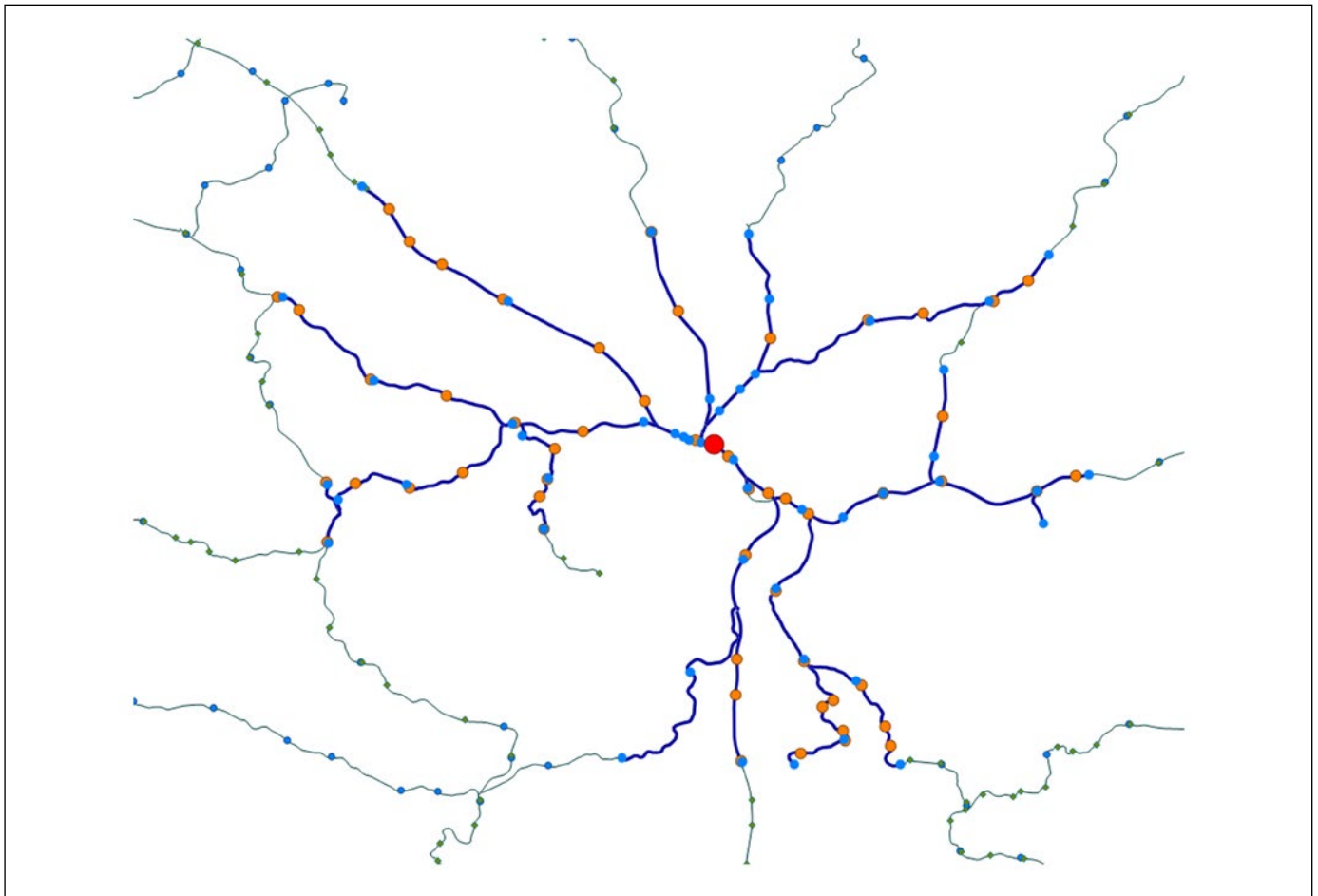


Bild 4: FRMCS – Latenzanalyse und Netzverdichtung: GSM-R-Basisstationen werden mittels Glasfasern an das Kernnetz angebunden. Mit der Einführung von FRMCS und der Nutzung höherer Frequenzbänder ist eine größere Anzahl von Basisstationen mit geringerem Abstand erforderlich. Zusätzlich werden für zeitkritische Anwendungen wie ATO die Signallaufzeiten für die maximale Entfernung vom nächsten Backbone-Standort maßgeblich.

Fig. 4: FRMCS – Latency Analysis and Network Densification: GSM-R base stations are linked by fiber optics with the core network. With introducing FRMCS technology and using higher frequency bands, more and densely located base stations are needed. Furthermore, signal latency for time-critical applications like ATO become significant for the maximum distance to the nearest backbone site.

schen und tabellarischen Funktionen und die interaktive Benutzeroberfläche ermöglichen es, Netze detailliert und effizient zu planen und die Ergebnisse übersichtlich darzustellen. Auf diese Weise können durch dieses Tool Investitions- und Betriebskosten reduziert werden, da die genaue Analyse offenbart, an welchen Punkten eines Netzes tatsächlich investiert werden muss. Zudem lassen sich Entscheidungsprozesse durch automatisierte Planungsarbeiten beschleunigen [2].

Ein Ziel ist es, im Rahmen der Umstellung auf FRMCS die aktuell große Zahl von 2500 Betriebsleitstellen deutlich zu reduzieren. Dafür muss für die Strecken zu den voraussichtlich 50 Betriebszentralen ein neues Redundanzkonzept erstellt werden. Für jede Betriebsstelle muss es mindestens zwei unabhängige Netzverbindungen geben, über die der Funk- und Datenverkehr zu den Zügen möglich ist. Das Planungstool zeigt an, was passieren würde, wenn ein bestimmter Betriebspunkt ausfallen würde. Dann muss eine redundante angelegte Verbindung den Datenverkehr übernehmen. Da noch nicht überall im Telekommunikationsnetz der Bahn Glasfaser verbaut ist, lässt sich auf Basis dieser Simulation herausfinden, wie viele Kilometer Glasfaser an welchen Stellen im Netz verlegt werden müssen. Wo ist Glasfaser bereits vorhanden? Reichen die vorhandenen Glasfasern für den Datenverkehr aus, um alle Betriebsstellen und zukünft-

pared. The graphic and tabular functions and the interactive user interface make it possible to plan NetWorks in detail and efficiently and to display the results clearly. Consequently, using the tool can reduce investment and operating costs as the precise analysis reveals the network locations that actually require investments. In addition, decision-making processes can be accelerated through automated planning work [2].

One goal is to significantly reduce the current large number of 2,500 operations control centres as part of the transition to FRMCS. Achieving this goal will require the preparation of a new redundancy concept for the routes to the expected 50 control centres. There must be at least two independent network connections that can carry radio and data traffic to the trains for each operating point. The planning tool simulates what would happen if a specific operating point were to fail. In that case, a redundant connection must take over the data traffic. Since fibre optic cables have not yet been installed everywhere in the railroad's telecommunications network, the simulation can be used to determine how many kilometres of fibre optic cable need to be laid at what points in the network, where a optic fibre cable is already available, whether sufficient fibre optic cables have been laid for data traffic in order to connect all the

tig die zugebauten Basisstationen mit Faserringen an die Betriebszentralen anzubinden? Und nicht zuletzt: Wieviel muss dafür investiert werden? Für diese Fragen bieten die auf topologischen Netzdaten basierenden Planungsergebnisse von NetWorks eine fundierte Entscheidungsgrundlage (Bild 5).

5 Auslastungsanalyse und Darstellung der aktuell verbauten Technik

Im Zuge der Netzanalyse und -planung kommen weitere Funktionen von NetWorks NG Transport zum Einsatz. So können Planer mithilfe des Tools eine Auslastungsanalyse durchführen. Es lässt sich ermitteln, wie viel Übertragungskapazität auf den Verbindungen unter welchen Bedingungen vorhanden ist und ob diese Kapazität reicht und eventuell zusätzliche Kapazität aufgebaut werden muss. Dann können Ersatzwege durch das Netz definiert werden, um die rechnerisch erforderliche Verfügbarkeit zwischen bestimmten Netzpunkten gewährleisten zu können.

Wichtig dafür ist auch, Transparenz über die aktuell installierte Technik zu bekommen. Dafür gibt es sogenannte schematische Zeichnungen des Netzes, die das gesamte Equipment, also die Gerätebestückung an allen Betriebspunkten entlang des gesamten Netzes abbilden. Dazu gehören unter anderem Schaltschränke mit der aktiven Technik für die Signalverarbeitung. Hier werden elektrische Signale oder Sprachsignale in optische Signale umgewandelt und

operating points, whether this will also suffice in the future for the newly constructed base stations with fibre rings connected to the operating centres and, last but not least, how much money has to be invested in the project. The NetWorks planning results based on the topological network data provide a sound basis for making decisions relating to these issues (fig. 5).

5 Utilisation analysis and a description of the currently installed technology

The additional functions of NetWorks NG Transport play a beneficial part during network analyses and planning. For example, planners can use the tool to perform a utilisation analysis. They can determine how much transmission capacity is available on the connections and under what conditions, whether this capacity is sufficient and what additional capacity may be required. Alternate paths through the network that can guarantee the computationally required availability between specific network locations can subsequently be defined.

It is also important to obtain a transparent overview of the currently installed technology. So-called schematic drawings of the network map the facilities in their entirety, i.e. the equipment placed at all the operating points along the entire network, including the control cabinets with active technology for signal processing. This is where electrical signals or voice signals are converted into optical signals and

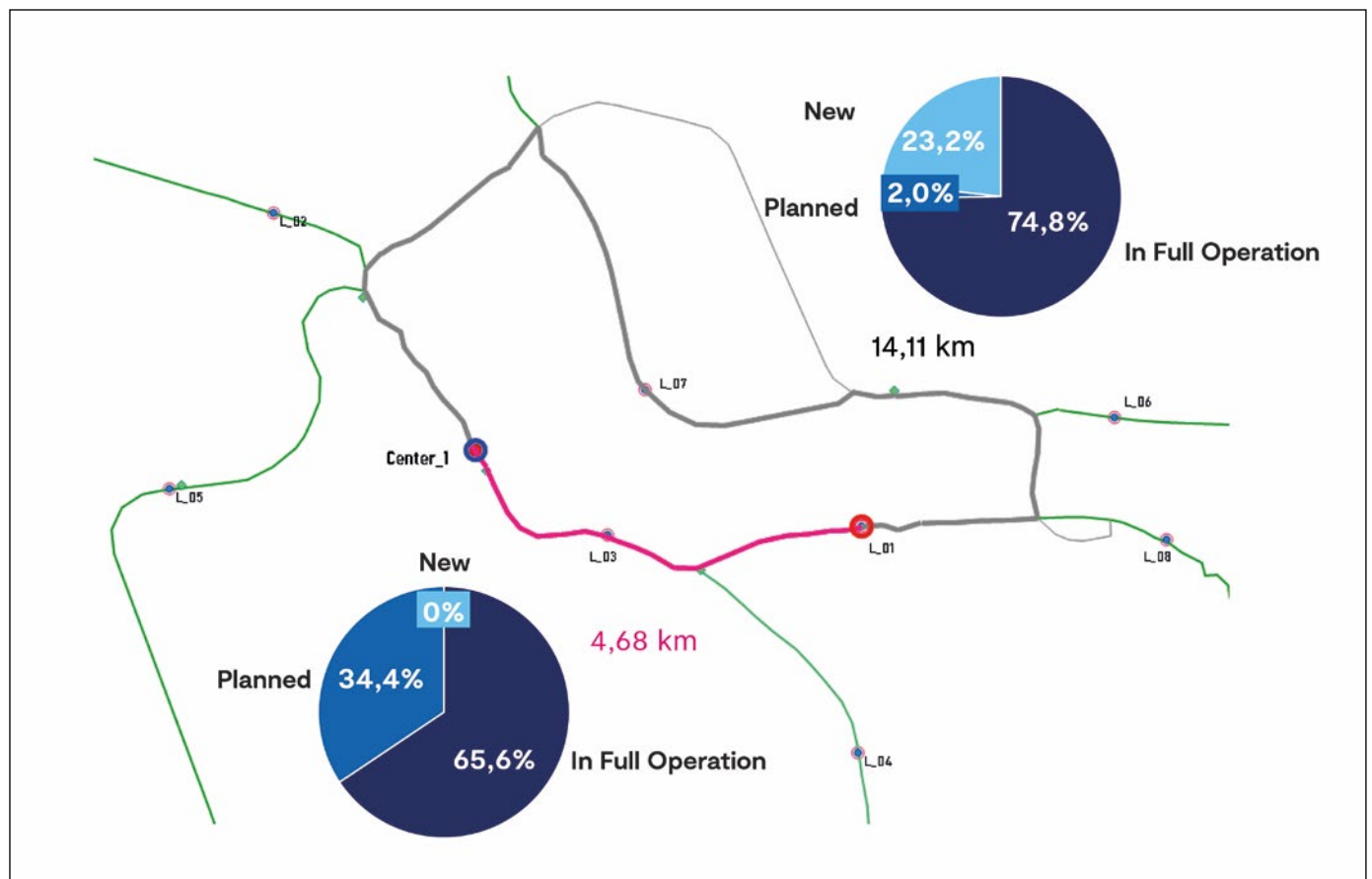


Bild 5: Anteile LWL-Ausbaustatus für Regel- und Ersatzweg: Eine Betriebsstelle wird idealerweise über zwei unabhängige Wege als Faserring an die Zentrale angebunden. Daraus lassen sich die erforderlichen Längen an Glasfasern ermitteln, insbesondere der Anteil Neubau. Die Kosten für die geforderte Redundanz sind nicht unerheblich, da ein Ersatzweg durchschnittlich dreimal länger ist als der Regelweg.

Fig. 5: Proportions of fiber optic expansion status for control and replacement paths: A location is connected to its managing center ideally over two independent routes as fiber ring. The required fiber lengths can be calculated, especially the newly built portion. The investment for the requested redundancy is not negligible as the alternative path is more three times longer than the regular path on average.

durch die Glasfaser transportiert. Auf Empfängerseite müssen diese Signale wieder zurückgewandelt werden. Zusätzlich bietet das Tool die Möglichkeit, sich genau diese Technik detailliert anzusehen – an einem Standort, in einer Region bis hin zum gesamten Bundesgebiet. Dafür greift das Planungstool unter anderem auch auf die Daten des Dokumentationssystems zu. Dieses enthält Informationen über alle im Bahnnetz vorhandene Hardware samt den Standorten. Dazu gehören unter anderem passive und aktive Netzelemente, Kupfer- und Lichtwellenleiter (LWL) -Kabel, geschaltete Dienste (Leitungswege) für Verbindungen, Übertragungssysteme und Netzwerke, Trassen, Schächte und Rohre.

6 Berechnung von Signaldämpfung im Glasfasernetz und Taktverteilung

So muss berechnet werden, mit welcher Stärke das optische Signal an den einzelnen empfangenen Netzknoten vorliegt, damit es noch zuverlässig decodiert und umgewandelt werden kann. Auf Grundlage des zur Verfügung stehenden Dämpfungsbudgets lassen sich die Sende- und die Empfangsleistungen zueinander korrekt einstellen. Eine sorgfältige Dämpfungsplanung für CWDM-Netze (Coarse Wavelength Division Multiplexing / Grobes Wellenlängenmultiplexing) und die korrekte Justierung der Sende- und Empfangsmodule mit Verstärkungs- und Dämpfungsgliedern sind entscheidend für die stabile Signalübertragung ohne Verwendung von teurer aktiver Übertragungstechnik.

Neben der Signalqualität ist auch die Taktung ein wichtiger Punkt für den reibungslosen Netzbetrieb. Dafür ermöglicht NetWorks den Blick auf das Synchronisierungsnetz, in dem für alle aktiven Geräte die Taktsignale von Primär- und Sekundärquellen verteilt werden. Für die verlustfreie, digitale Signalverarbeitung ist es entscheidend,

transported through the fibre optic cable. These signals must be converted back into the original format at the point of reception. Moreover, the tool offers a function for examining precisely this technology - at one location, in one region or even the entire country. The planning tool also accesses data from the documentation system and other sources at this time. The collected data contains information about all the hardware available on the rail network, including the locations, the passive and active network elements, copper and fibre optic cables, switched services (line paths) for connections, transmission systems and NetWorks, routes, manholes, pipes and so on.

6 Calculating signal attenuation in the fibre optic network and clock distribution

The strength of the optical signal when received at each of the network nodes must be calculated to ensure that it can still be reliably decoded and converted. The available attenuation budget is used to set the correct ratio between the transmission power and the receiver signals. Careful attenuation planning for CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) NetWorks and correct adjustment of the transmitting and receiving modules with amplifiers and attenuators are crucial for stable signal transmission so as to avoid the use of expensive active transmission technology.

In addition to signal quality, clocking is also an important element for trouble-free network operations. The synchronisation network where clock signals from primary and secondary sources are distributed for all active devices can be viewed in NetWorks. It is crucial that the high-rate signals all run at the same rate, i.e. are synchronous, for loss-free digital signal processing. The usual procedure for securing this prerequisite is to intro-

Nutzen von NetWorks NG Transport

Digital Twin des realen Netzes – Modellierung von physikalischem, Übertragungs- und Paketnetz in einem Tool

Reduzierung des Planungsaufwandes durch die konsistente Planung aller Netzschichten

Fokussierung auf die Dienstqualität (QoS) durch die Modellierung von Kunden-SLA, Diensten, Service Access Points und verschiedenen QoS-Konzepten

Verbesserte Netzstabilität durch das Erkennen von Risiken, das Berechnen von entsprechenden Szenarien und Unterstützung des Planungsprozesses über alle Transportschichten hinweg

Transparenter Planungsprozess durch den Zugang zu allen planungsrelevanten Daten aus verschiedenen Quellen, gebündelt in einem Tool

Belastbare Ergebnisse durch die Nutzung von bewährten Analyse-, Planungs- und Simulationsmethoden

Herstellerunabhängige und technologieoffene Optimierungsverfahren

Analyse und Entwurf von IP / MPLS / Ethernet-Netzen

NetWorks unterstützt die Analyse von IP / MPLS / Ethernet-Netzen in Bezug auf Ressourcenauslastung und Dienstqualität sowie hinsichtlich Topologie-Entwurf und Ressourcendimensionierung:

Berechnung der Auslastung von Interfaces, basierend auf der gegenwärtigen und der zukünftigen Nachfrage nach Bandbreite

Erkennung von Kapazitätsengpässen

Berechnung von End-zu-End-Verzögerungen

Prüfung von Routingtabellen / Fast-Reroute-Konfigurationen der IP / MPLS-Topologie auf Vollständigkeit, Korrektheit und Wegeunabhängigkeit

Berechnung der notwendigen Anzahl von Interfaces

Bestückung von Netzelementen

Benefits of NetWorks NG Transport

A digital twin of the real network – modelling the physical, transmission and packet network in one tool

Reduced planning time and effort by means of the consistent planning of all the network layers

A focus on service quality by modelling customer SLAs, services, service access points and various QoS concepts

Improved network reliability through identifying any risks, calculating related scenarios and supporting the planning process across all the transport layers

A transparent planning process supported by access to all the data from the various planning-relevant sources and bundled into one tool

Dependable results based on tried and proven analysis, planning and simulation methods

Optimisation procedures independent of specific manufacturers and specific technologies

The analysis and design of IP / MPLS / Ethernet networks

NetWorks supports the analysis of IP / MPLS / Ethernet networks in terms of resource utilisation, quality of service, topology design and resource dimensioning:

The calculation of interface utilisation based on the current and future demand for bandwidth

The detection of capacity bottlenecks

The calculation of end-to-end delays

A review of the routing tables/fast reroute configurations of the IP / MPLS topology for completeness, correctness and path independence

The calculation of the number of required interfaces

The equipment of the network elements

dass die hoch getakteten Signale alle im gleichen Takt laufen, also synchron sind. Üblicherweise wird dazu an zentraler Stelle im Netz ein hochgenauer Referenztakt eingespeist. Alternativ wird heutzutage mit GNSS-Empfängern das Zeitsignal lokal empfangen und über das PTP (Precision Time Protocol) verteilt. Für die Frequenz- bzw. Phasen- und Zeitsynchronisation ist eine sorgfältige Planung notwendig, um die zukünftig maximalen Gesamtbudgets von 500 μ s bzw. 1,5 μ s Ende-zu-Ende zu gewährleisten. ■

duce a highly accurate reference clock at a central point in the network. Alternatively, GNSS receivers are now used to receive the time signal locally and distributed via PTP (Precision Time Protocol). Careful planning is necessary for the frequency resp. phase and time synchronization in order to guarantee the end-to-end maximum budgets of 500 μ s and 1.5 μ s respectively in future. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] <https://dewiki.de/Lexikon/GSM-R>
 [2] <https://networks.detecon.com>

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Bernd Halle

Senior Manager
 Detecon International GmbH
 Adresse / Address: Riesaer Straße 7, D-01129 Dresden
 E-Mail: bernd.halle@detecon.com

Dipl.-Ing. Hamza Larhrib

Senior Manager
 Detecon (Schweiz) AG
 Adresse / Address: Löwenstrasse 1, CH-8001 Zürich
 E-Mail: hamza.larhrib@detecon.com

Tim Herbstrith, M.Sc.

Manager and Data Analytics Professional
 Detecon International Nordics
 Adresse / Address: Strandvägen 7A, S-114 56 Stockholm
 E-Mail: tim.herbstrith@detecon.com



**Bleiben
 Sie in der Spur!**

Mit dem Newsletter von

**Eurail
 press**

**Jetzt
 anmelden!**

[www.eurailpress.de/
 anmeldung](http://www.eurailpress.de/anmeldung)