

Jochen Holzfeind · Jia Liu  
Ferdinand Pospischil *Hrsg.*

ORDER NOW:



# Handbuch Eisenbahn- infrastruktur

*4. Auflage*



 Springer Vieweg

**Laden Sie sich dieses Dokument über diesen QR Code herunter**  
**DOWNLOAD this document as PDF by using this QR Code**





## Geleitwort

Eisenbahninfrastruktur bewegt Generationen. Das trifft in mehrfacher Hinsicht zu. In erster Linie sind es die Generationen an Fahrgästen, für die funktionierende Eisenbahnnetze über Jahrzehnte die Basis ihrer Mobilität sind. Doch bereits am Weg von der strategischen Planung einer völlig neuen Strecke bis zur detaillierten Ausschreibungsplanung unmittelbar vor Baubeginn sind nicht selten – je nach Hürden und Herausforderungen im Projektverlauf – mehrere Generationen an Expertinnen und Experten am Werk. In der Natur der Eisenbahninfrastruktur liegt es, dass auch in der Instandhaltung über die lange Lebensdauer hinweg die Aufgabe der verantwortungsvollen und professionellen Erhaltung oft tatsächlich von einer Generation an die nächste weitergegeben wird. Dabei soll jedoch ein generationsübergreifender Aspekt nicht in Vergessenheit geraten: Wir haben es jetzt in der Hand, wohin uns die Zukunft führt und welche Zugverbindungen uns und den folgenden Generationen noch lange nutzen werden. Für das österreichische Schienennetz hat sich dafür die Definition eines konkreten Zielnetzes bewährt. Im Zielnetz wird mit einer langfristigen Perspektive auf benötigte Kapazitäten und Verbindungen das künftige Schienennetz Österreichs entwickelt.

Das sogenannte „Zielnetz 2040“ ist dementsprechend die langfristige Ausbaustrategie für die Eisenbahninfrastruktur in Österreich. Es umfasst die notwendigen Umsetzungsschritte für die Weiterentwicklung des Bahnnetzes bis 2040. Immer mit dem Fokus, wie die Infrastruktur den wachsenden Anforderungen der Menschen an den Personen- und Güterverkehr in Zukunft – und über Generationen – gerecht werden kann. Umgesetzt wird das Zielnetz über den jährlich zu erstellenden Rahmenplan für das Netz der ÖBB-Infrastruktur AG, der jeweils eine Periode von 6 Jahren umfasst. Mit diesem wird die Finanzierung für die Investitionen durch die Bundesregierung sichergestellt. Diese äußerst stabile Finanzierungssituation ermöglicht eine stabile und zukunftsorientierte Infrastrukturplanung.

Die Weiterentwicklung der Schieneninfrastruktur ist eine Entscheidung für Generationen. Nur durch eine strategische und vorausschauende Planung dieser Art kann die Bahn in Zukunft wichtige Aufgaben im Sinne einer klimafreundlichen Mobilitätswende leisten. In diesem Zusammenhang werden auch die Aspekte der Nachhaltigkeit in Bau und Erhaltung immer wichtiger. Dabei ist sowohl die Bandbreite der Maßnahmen als auch deren Potential groß und die Hebel können an vielen Stellen angesetzt werden. So hat etwa die Erhaltung der bestehenden Brückenpfeiler der Jauntalbrücke in Kärnten – mit 96 Metern Höhe eine der höchsten Eisenbahnbrücken Europas – beim Bau der Koralmbahn nur sechs Prozent des Carbon Footprint verursacht, den ein Neubau der Pfeiler nach sich gezogen hätte.

In der Erhaltung punktet eine fundierte Lebenszyklusbewertung bei Ingenieurbauwerken. Durch entsprechend abgeleitete Maßnahmen etwa im Korrosionsschutz kann zum Beispiel die Lebensdauer von Stahlbrücken deutlich verlängert werden. Insbesondere können mittels Sensorik und Prognose-Modellen wesentlich genauere Lebensdauerprognosen für Stahlbrücken erstellt werden und diese daher auch wesentlich länger in Betrieb gehalten werden. Mit einem Blick in die Zukunft sind aktuelle Forschungen und Innovationen zur Weiterentwicklung von Baustoffen, Bauverfahren und Konstruktionen vielversprechend. So kann die Verwendung von Beton mit CO<sub>2</sub>-optimierten Ausgangsstoffen, also in erster Linie zementreduzierter Beton, teilweise schon jetzt wesentlich zu einer höheren Nachhaltigkeit im Bau beitragen.

All das kann auch künftig nur mit fundiertem Wissen und einem grundlegenden Verständnis dafür, wie die einzelnen Fachbereiche der Eisenbahninfrastruktur ineinandergreifen, bewerkstelligt werden. Das vorliegende Handbuch ist der ideale Begleiter im beruflichen Alltag aller, die – über Generationen hinweg – diesen Herausforderungen zu begegnen haben.

Dr. Judith Engel

Vorstandsdirektorin der Österreichischen Bundesbahnen Infrastruktur AG



## Foreword

Railway infrastructure moves generations. This is true in several respects. First and foremost, it is the generations of passengers for whom functioning railway networks are the basis of their mobility for decades. But even on the way from the strategic planning of a completely new line to the detailed tender planning immediately before construction begins, it's not uncommon for several generations of experts to be at work - depending on the hurdles and challenges in the course of the project.

It's in the nature of railway infrastructure that the task of responsible and professional maintenance is often actually passed on from one generation to the next over the long service life. However, one cross-generational aspect should not be forgotten: we now have it in our hands where the future takes us and which train connections will be of use to us and future generations for a long time to come. For the Austrian Federal Railways (ÖBB), the definition of a specific target network has proven to be a good idea. In the target network, Austria's future rail network is developed with a long-term perspective on the required capacities and connections.

The so-called "Target Network 2040" is therefore the long-term expansion strategy for the railway infrastructure in Austria. It includes the necessary implementation steps for the further development of the railway network up to 2040. Always with the focus on how the infrastructure can meet people's growing demands for passenger and freight transport in the future - and over generations. The target network is implemented via the framework plan for the network of ÖBB, which is drawn up annually and covers a period of 6 years. This ensures that the federal government finances the investments. This extremely stable financing situation enables stable and future-oriented infrastructure planning.

The further development of the rail infrastructure is a decision for generations. Only through strategic and forward-looking planning of this kind can the railways perform important tasks in the future in the sense of a climate-friendly mobility transition. In this context, the aspects of sustainability in construction and maintenance are also becoming increasingly important. Both the range of measures and their potential are large and the levers can be applied in many places. For example, the maintenance of the existing bridge piers of the Jauntal Bridge in Carinthia - at 96 meters high, one of the highest railway bridges in Europe - during the construction of the Line Graz – Klagenfurt (Koralmbahn) caused only six percent of the carbon footprint that would have resulted from building new piers.

In terms of maintenance, a well-founded life cycle assessment of engineering structures scores points. The service life of steel bridges, for example, can be significantly extended by appropriately derived measures, such as corrosion protection. In particular, sensors and forecast models can be used to create much more accurate service life forecasts for steel bridges, meaning that they can be kept in operation for much longer. Looking to the future, current research and innovations into the further development of building materials, construction methods and structures are promising. For example, the use of concrete with CO<sub>2</sub>-optimized raw materials, i.e. primarily cement-reduced concrete, can already make a significant contribution to greater sustainability in construction.

All of this can only be achieved in the future with sound knowledge and a basic understanding of how the individual specialist areas of railway infrastructure interact. This handbook is the ideal companion in the everyday working life of all those who – across generations – have to face these challenges.

Dr. Judith Engel

CEO of the Austrian Federal Railways Infrastructure AG



## Vorwort der Herausgeber

Mit der neuen Auflage des Handbuch Eisenbahninfrastruktur folgen wir dem Ursprungsgedanken einer fortlaufenden Aktualisierung der bisherigen Herausgeber Prof. Fengler und Prof. Fendrich.

Neben der Aktualisierung der bestehenden Themen stand auch die Erweiterung auf neuen Themen wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Vordergrund. Diese Themen sind nicht nur zentrale Bestandteile der aktuellen Entwicklung, sondern auch entscheidende Schlüssel für die Zukunft der Eisenbahninfrastruktur.

Darüber hinaus hat sich nicht nur der Inhalt den Anforderungen an ein aktuelles Nachschlagewerk angepasst, sondern auch die Herausgeberschaft neu aufgestellt. Durch deren Mix aus Industrie- und Forschungssichtweise streben wir eine enge Verbindung von wissenschaftlichen Grundlagen, praxisnahen Anwendungen sowie zukunftsorientierten Entwicklungen an. Somit war es uns nicht nur in der inhaltlichen Ausgestaltung des Handbuchs, sondern auch in der Autorenschaft ein Anliegen uns nachhaltig aufzustellen. Dadurch gewährleisten wir mit dem Handbuch Eisenbahninfrastruktur sowohl ein wertvolles, aktuelles Nachschlagewerk für Fachleute, als auch eine Vernetzung und Wissensvermittlung im internationalen Raum. Besonders möchten wir uns bei Frau Dipl.-Ing. Engel (Vorständin, ÖBB-Infrastruktur AG) für ihre Unterstützung und ihr Vorwort bedanken, in welchem Sie die Relevanz dieses Nachschlagewerkes herausstreicht und aktuelle Themen aus Sicht eines Infrastrukturbetreibers benennt. Ein herzlicher Dank gilt den Autorinnen und Autoren, die mit ihrem Fachwissen und ihrem persönlichen Engagement aktuelle Entwicklungen wie u.a. die Digitalisierung in das Handbuch integriert haben und es somit zu dem Branchen-Nachschlagewerk haben werden lassen. An dieser Stelle bedanken wir uns auch bei allen bisherigen Autoren für die zur Verfügungstellung ihrer Inhalte.

Wir bedanken uns beim Springer Verlag, insbesondere bei Frau Klabunde und Ihrem Team, für die partnerschaftliche Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Realisierung dieses Handbuchs. Mit großem Bedauern gedenken wir des Verlusts von Prof. Lothar Fendrich, dem ursprünglichen Herausgeber dieses Handbuchs. Sein Beitrag und Engagement werden uns stets in Erinnerung bleiben. Noch zu Lebzeiten übergab er gemeinsam mit seinem Co-Herausgeber Prof. Wolfgang Fengler das Zepter dieses Nachschlagewerks in unsere Hände. Abschließend hoffen wir, dass diese vierte Auflage des "Handbuchs Eisenbahninfrastruktur" Ihren Erwartungen entspricht und einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung Ihres Fachwissens leisten kann. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Die Herausgeber

Dr. Jochen Holzfeind; Prof. Dr. Jia Liu; Prof. Dr. Ferdinand Pospisil

Zeltweg/Darmstadt/Graz

September 2024



## Preface by the Editors

With the new edition of the Railway Infrastructure Handbook, we continue the original idea of ongoing updates by the previous editors, Prof. Fengler and Prof. Fendrich.

In addition to updating existing topics, the focus was also on expanding to new themes such as digitalisation and sustainability. These are not only central components of current developments but also crucial keys to the future of railway infrastructure.

Not only has the content been adapted to meet the needs of an up-to-date reference book, but the editorial team has also been reorganised. Through a mix of industrial and research perspectives, we aim to create a close connection between scientific foundations, practical applications, and future-oriented developments. Thus, it was important for us to establish sustainably not only in the content of the handbook but also in the authorship. This ensures that the Railway Infrastructure Handbook remains a valuable, up-to-date reference work for professionals, as well as a means of networking and knowledge transfer in the international arena.

We would particularly like to thank Mrs. Dipl.-Ing. Engel (Executive Board Member, ÖBB-Infrastruktur AG) for her support and her foreword, in which she highlights the relevance of this reference work and discusses current topics from the perspective of an infrastructure operator.

A heartfelt thanks goes to the authors, who with their expertise and personal commitment have integrated current developments such as digitalisation into the handbook, making it the sectors reference work.

At this point, we would also like to thank all previous authors for providing their content.

We thank Springer Verlag, especially Mrs. Klabunde and her team, for the cooperative collaboration and support in the realisation of this handbook.

With great sadness, we remember the loss of Prof. Lothar Fendrich, the original editor of this handbook. His contribution and dedication will always be remembered. During his lifetime, he, together with his co-editor Prof. Wolfgang Fengler, passed the baton of this reference work into our hands.

In conclusion, we hope that this fourth edition of the "Railway Infrastructure Handbook" meets your expectations and can make a valuable contribution to the development of your expertise. For the sake of readability, the simultaneous use of the male, female, and diverse (m/f/d) forms has been omitted. All personal designations apply equally to all genders.

The Editors

Dr. Jochen Holzfeind; Prof. Dr. Jia Liu; Prof. Dr. Ferdinand Pospischil

Zeltweg/Darmstadt/Graz

September 2024

# 1. Das Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg

Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.Klaus Riessberger <sup>a\*</sup>



Die Klarstellung der Kraft- und Bewegungsverhältnisse zwischen Fahrzeug und Gleis, detaillierter zwischen Rad und Schiene, war bereits im 19. Jahrhundert Gegenstand wissenschaftlicher Bemühungen. Entsprechend den damaligen Möglichkeiten spielten vor allem experimentelle Erkenntnisse eine bedeutende Rolle, deren mathematische Formulierung einerseits wesentliche Vereinfachungen enthielten, aber andererseits bis heute nachwirken. Einige der in diesem Beitrag aufgezeigten „Kriterien“ haben sich über die Zeit durch ihre Anwendbarkeit qualifiziert, auch wenn gelegentlich Kritik von akademischer Seite geäußert wird. Die Darstellungen sollen ein Grundverständnis des Systems Eisenbahn und einen Einblick in die den Kontakt Rad-Schiene beschreibenden Modelle liefern, wie z.B. die Begriffe „äquivalente Konizität“, den „Sinuslauf“ oder die Bestimmung der Stellung der Fahrzeuge im Spurkanal, den „Vogel-Plan“. Insbesondere das Verfahren nach Prof. Heumann für die Ermittlung der Bogenlaufkräfte bei mäßigen Geschwindigkeiten erlaubt eine schnelle Überprüfung der Ergebnisse von heute modernen rechen-technischen Simulationen der Lauftechnik. Die kegelartige Kontur der Radlaufflächen spielt für die Selbstzentrierung der Radsätze und den Bogenlauf sowie die Verteilung der Verschleiß über die Berührbreite eine wichtige Rolle. Die Interaktion von Radsatz und Gleis ist bei moderaten Geschwindigkeiten zunächst von den klassischen Fehlern der Gleisgeometrie wie Längshöhenfehlern, Fehlern in der Seitenlage des Gleises und Gleisverwindungen dominiert. Bei höheren Geschwindigkeiten gewinnt die Kontaktgeometrie, zwischen Gleis, charakterisiert durch Spurweite, Schienenprofil und Einbauneigung, und Radsatz, ausgedrückt durch Radprofil und entsprechende Abmessungen, an Bedeutung und schließlich Dominanz. Der Radaufstandspunkt befindet sich NICHT am „äußersten Rand“ der Wissensgebiete Gleisbau und Fahrzeugbau und spielt für ein problemloses, kostengünstiges und störungsfreies Funktionieren der Eisenbahn die entscheidende Rolle.

## The Interaction between Vehicle and Track



Already in the 19th century the explanation of forces and movements regarding the interaction of wheels and rails, later the vehicle and its runway, were targeted with scientific attempts. In line with the then existing possibilities experimental efforts were dominating. Mathematical formulations, however, were prone to generalising simplifications, which influence our understanding until today. Some of the “criteria”, touched at in this contribution, have justified themselves by their practicability even when they are criticised from academics.

The explanations in this chapter intend to support a basic understanding of the Railway system and in particular the models describing the rail-wheel-contact. In this respect “equivalent conicity”, “sinusoidal lateral movement of wheelsets in motion” and “positioning of wheels in the track-channel” (in German “Vogel-Plan”) are key items. In particular Heumann’s approach to quickly define rail-wheel-forces while the vehicles traverse a curve (with moderate speeds) is highly valuable for cross-checking modern computer calculations.

The cone-like shape of the wheel-contours is the key for self-centring of wheelsets in straight tracks (instrumental for high-speed-operation), the curving performance with least abrasion and the distribution of non-avoidable wear. While the interaction of wheelset and track is dominated at low speeds by the “classical” errors of the track-geometry like vertical and lateral offsets and track-twist the contact-geometry gradually takes over the leading role in the vehicle’s excitation. The importance of a well-balanced rail-wheel-interaction to all fields of Railway engineering is thus underlined. The contact-point rail-wheel is definitely NOT most distanced from the central engineering fields of running material and infrastructure, it plays the dominating role for rail-operation with least problems, least disturbances and thus least cost.

## 2. Auslegung des Eisenbahnoberbaus

Dr.-Ing. Ulf Gerber <sup>a</sup>; Univ.-Prof. Dr.techn. Ferdinand Pospischil M.Sc. <sup>b</sup>



<sup>a</sup> Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

<sup>b</sup> Institut für Eisenbahn-Infrastrukturdesign, Technische Universität Graz, Graz, Österreich

Das Ziel der Auslegung des Eisenbahnoberbaus besteht in der Minimierung der durch ihn verursachten Gesamtkosten, welche sich aus den gegenläufigen Erneuerungs- und Instandhaltungskosten zusammensetzen, bei gleichzeitiger Bereitstellung eines hochverfügbaren Fahrwegs. Zur Unterstützung der Auslegung liefert der Ausrüstungsstandard der DB AG Empfehlungen zur Auswahl der Komponenten des Eisenbahnoberbaus (Schienen, Schienenbefestigungen, Schwellen, Bettung) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse, ohne auf die Ursachen dieser Empfehlungen einzugehen. Sobald der praktisch tätige Ingenieur eine Auslegung unter Bedingungen vornehmen soll, die außerhalb des Einsatzspektrums der DB AG liegen (einschließlich abweichender Radkräfte, wie sie im Falle des Schwerlastverkehrs oder des ausschließlichen Personenverkehrs auftreten können), wird er auf die Anwendung der klassischen Oberbaumechanik angewiesen sein, welche im vorliegenden Kapitel in ihren Grundzügen behandelt wird.

## Design of the railway superstructure



The aim of the design of the railway superstructure is to minimise the total costs caused by it, which are made up of the opposing renewal and maintenance costs, while at the same time providing a highly available track. To support the design, the DB AG equipment standard provides recommendations for selecting the components of the railway superstructure (rails, rail fastenings, sleepers, ballast) depending on the speed and the annual accumulated traffic mass, without going into the causes of these recommendations. As soon as the practising engineer has to carry out a design under conditions that lie outside the DB AG application spectrum (including deviating wheel forces, as can occur in the case of heavy goods traffic or exclusive passenger traffic), he will have to rely on the application of classical superstructure mechanics, the main features of which are dealt with in this chapter.

### 3. Schienen und Schienenschweißen



Dr.-Ing. Sören Röhrig<sup>a\*</sup>, Dipl.-Ing. Alexander Zlatnik<sup>a</sup>, Dipl.-Ing. Jürgen Reinhard<sup>b</sup>

<sup>a</sup> c/o voestalpine Rail Technology GmbH, Kerpelystarssse 199, 8700 Leoben-Donawitz, Österreich

<sup>b</sup> Jürgen Reinhard, Am Römerbad 7, 64747 Breuberg, Deutschland

Das Kapitel "Schienen und Schienenschweißen" behandelt die zentralen Themen der Schienenwerkstoffe, der Schienenherstellung, das Schweißen von Schienen sowie deren Inspektion und Instandhaltung im Gleis. Im ersten Teil werden die Anforderungen an die Schiene für einen sicheren Bahnbetrieb erläutert, gefolgt von einer Beschreibung des gängigen Werkstoffkonzepts und einem Ausblick auf aktuelle Werkstoffentwicklungen. Daraufhin wird ausführlich auf die Stahl- und Schienenherstellung eingegangen. Im anschließenden Teil bietet das Kapitel eine Einführung in die Besonderheiten des Schienenschweißens inklusive einer Beschreibung der gängigen Schweißverfahren und ihrer Vor- und Nachteile sowie einer Auflistung häufiger Fehler. Abschließend werden die Aspekte der Schieneninspektion und -instandhaltung diskutiert. Die gängigsten Mess- und Prüfverfahren für die Beurteilung des Schienenzustands werden vorgestellt und besonders auf Rollkontaktermüdungsschäden, wie HeadChecks aber auch Squats, eingegangen. Zum Schluss werden die unterschiedlichen Schleif- und Fräsverfahren besprochen. Die Beschreibungen sind durchwegs in enger Anlehnung an die jeweiligen geltenden Europäischen Normen abgehalten.

### Rail and Rail Welding



The chapter "Rails and Rail Welding" deals with the central topics of rail materials, rail production, rail welding and their inspection and maintenance on the track. The first part explains the requirements placed on rails for safe railway operation, followed by a description of the current material concepts and an overview of current material developments. This is followed by a detailed discussion of steel and rail production. In the following section, the chapter introduces the special features of rail welding, including a description of common welding processes and their advantages and disadvantages, as well as a list of common faults. Finally, the aspects of rail inspection and maintenance are discussed. The most common measuring and testing methods for assessing the condition of rails are presented and rolling contact fatigue damage, such as head checks and squats, are discussed in particular. Various grinding and milling methods are also examined. The descriptions closely follow the relevant applicable European standards.

## 4. Weichen



Dipl.-Ing. Ekkehard Lay<sup>a</sup>, Dipl.-Ing. Reinhold Rensing<sup>b</sup>, Dipl.-Ing. Uwe Oßberger<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Seeheim-Jugenheim, Deutschland

<sup>b</sup> Borken, Deutschland

<sup>c</sup> Zeltweg, Österreich

Eisenbahnweichen sind essenzielle Komponenten des Schienennetzes, die es Zügen ermöglichen, von einem Gleis auf ein anderes zu wechseln. Sie sind zentrale Elemente in Bahnhöfen, Rangierbahnhöfen und an Gleisverbindungen von Eisenbahnstrecken. Eine Weiche besteht aus mehreren wichtigen Teilen: den Weichenzungen, dem Herzstück und den Backenschienen. Die Weichenzungen sind bewegliche Schienen, die durch einen Stellmechanismus umgestellt werden können, um den Fahrweg des Zuges zu bestimmen. Das Herzstück ist der Punkt, an dem sich die beiden Gleisstränge kreuzen und hohe dynamische Kräfte hohe mechanische Beanspruchungen im Rad-Schienenkontakt und Schotter verursachen. Weichen werden durch verschiedene Mechanismen gestellt, entweder manuell, elektrisch oder hydraulisch, und sind mit Sicherheitssystemen verbunden, um einen störungsfreien und sicheren Bahnbetrieb zu ermöglichen. Darüber hinaus gibt es spezielle Hochgeschwindigkeitsweichen, die für den Einsatz auf Schnellfahrstrecken entwickelt wurden und Zügen ermöglichen, Weichen auch bei hohen Geschwindigkeiten im abzweigenden Ast zu befahren. Die regelmäßige Wartung und Inspektion von Weichen ist entscheidend, um die Zuverlässigkeit und Sicherheit des Eisenbahnbetriebs zu gewährleisten und eine hohe Lebensdauer der einzelnen Komponenten zu erreichen. Verschleiß und Materialermüdung können die Funktionalität beeinträchtigen und müssen frühzeitig erkannt und behoben werden. Eisenbahnweichen sind somit nicht nur technische Wunderwerke, sondern auch wesentliche Bestandteile für den reibungslosen Ablauf des Eisenbahnverkehrs.

## Turnouts



Railway turnouts are essential parts of the rail network that enable trains to switch from one track to another. They are central elements in railway stations, marshalling yards and at crossovers of railway lines. A turnout consists of several important parts: the switch blades, the crossing and the stock rails. The switch blades are movable rails that can be set by a drive and lock mechanism to define the running path of the train, either straight or in diverging direction. The crossing is the point at which the two track gauge lines cross. At this part, high dynamic forces of the wheel transition process are causing high mechanical stresses in the wheel-rail contact and the ballast below.

Switches are set by various drive systems, either manually, electrically or hydraulically, and are connected to safety systems to ensure reliable and safe rail operations. In addition, there are special high-speed turnouts developed for use on high-speed lines that allow trains to pass over turnouts even at high speeds on the diverging route.

Regular maintenance and inspection of turnouts is crucial to ensure the reliability and safety of rail operations and to achieve a long service life for the individual components. Wear and material fatigue can impair functionality and must be detected and rectified at an early stage. Turnouts are therefore not only technical marvels, but also essential components for the smooth operation of rail traffic.

## 5. Unterbau, Eisenbahndämme und Einschnitte

Dipl.-Geol. Ralph Fischer<sup>a\*</sup> und Dipl.-Ing. Jürgen Stern<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> DB InfraGO, Frankfurt, Deutschland <sup>a</sup> ÖBB-Infrastruktur AG, Wien, Österreich



Der Unterbau beziehungsweise der Bahnkörper von Gleisanlagen wird neben Brücken und Tunneln primär von geotechnischen Bauwerken gebildet. Zu letzteren zählen insbesondere die eigentlichen Erdbauwerke. Erdbauwerke wie Eisenbahndämme, Ein- und Anschnitte bestehen überwiegend nur aus meist vor Ort gewonnenen, natürlichen Stoffen. Diese Bauwerke zeichnen sich in der Regel durch ihre hohe Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit sowie durch ihre naturverträglichen Eigenschaften zur Umwelt aus. Neben diesen Bauwerken sind auch Durchlässe oder Querungen sowie Stützbauwerke und auch Entwässerungsanlagen des Bahnkörpers zu den geotechnischen Bauwerken, die den Unterbau von Gleisanlagen bilden, zu rechnen. Für den Bau ist die Kenntnis der Baugrundverhältnisse und der Eigenschaften der verwendeten natürlichen Baustoffe von ausschlaggebender Bedeutung, die eine ausreichende Erkundung im Vorfeld notwendig machen. Alle genannten Bauwerke werden im Laufe ihrer Nutzung durch unterschiedliche Faktoren, wie Witterung und Verkehrsbelastung beeinflusst, die ihre Lebensdauer begrenzen und Instandhaltungsmaßnahmen erfordern. Die geotechnischen Bauwerke, ihre Planung, Herstellung und Qualitätssicherung sowie Instandhaltung werden im Kapitel beschrieben. Themenstellungen über Untergrunderkundungen an bestehenden Eisenbahnstrecken, Tragschichten des Bahnkörpers, Baugrubensicherungen im Gleisbereich, Inspektion und Instandhaltung sowie Fallbeispiele aus dem Bereich der Geotechnik runden das Kapitel ab. Unterschiede bei den drei DACH-Bahnen DB InfraGO AG (bis 31.12.2023 DB Netz AG), ÖBB-Infrastruktur AG und SBB werden angesprochen.

## Substructure, railway embankments and cuttings



In addition to bridges and tunnels, the substructure of railway tracks is primarily formed by geotechnical structures. The latter include in particular the earthworks. Earthworks such as railway embankments and cuts consist mainly of natural materials, most of which are obtained locally. These structures are usually characterized by their high durability as well as by their ecologically harmless properties to the environment. In addition to these structures, culverts or crossings as well as retaining walls and drainage systems of the track are also to be counted among the geotechnical structures, which form the substructure of the track. For construction the knowledge of the subsoil conditions and the properties of the natural building materials are of great importance. Therefore a sufficient ground investigation is necessary. In the course of their use, all of these structures are influenced by various factors, such as weather and traffic load, which limit their service life and require maintenance measures. The geotechnical structures, their planning, production and quality assurance as well as maintenance are described in the chapter. Topics such as ground investigations on existing railway lines, base courses of the track, excavation pits next to the track, inspection and maintenance as well as case studies of geotechnics are included in the chapter. Differences between the three DACH-railways DB InfraGO AG (until 31.12.2023 DB Netz AG), ÖBB-Infrastruktur AG and SBB are addressed.

## 6. Eisenbahnbrücken, Tunnel und Ingenieurbauwerke

Dipl.-Ing. Tristan Mölter <sup>a</sup> und Dipl.-Ing. Michael Fiedler <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Velden/Vils, Deutschland

<sup>b</sup> Hamburg, Deutschland



Das Kapitel gibt einen Überblick über den Konstruktiven Ingenieurbau und den Tunnelbau. Vorweggestellt wird mit einem historischen Teil ein Einblick über die Entwicklung der verschiedenen Epochen und Baustoffe gegeben. Im Folgenden sind konstruktive Regeln sowie die Zusammenstellung über die erforderlichen Ausrüstungselemente zur Planung einer Eisenbahnbrücke ebenso Bestandteil wie die wichtigsten Lastansätze und Beanspruchungen. Auch der Tunnelbau wird kurz umrissen und dargestellt.

Denn die im Wissen der hier niedergeschriebenen Hinweise und Empfehlungen geplanten Ingenieurbauwerke dienen einzig dem Zweck, den Fahrweg immer dort unter Einhaltung der zulässigen Trassierungsparameter über Bäche, Täler, andere Verkehrswege oder auch durch Tunnel zu führen, wo ein Bahndamm allein nicht ausreicht.

## Railway bridges, tunnels and engineering structures



This chapter provides an overview of structural engineering and tunnelling.

This is preceded by a historical section that provides an insight into the development of the various epochs and building materials. This is followed by design rules and a compilation of the equipment elements required for planning a railway bridge as well as the most important load approaches and stresses. Tunnelling is also is also briefly outlined and presented. This is because the engineering structures planned in the knowledge of the information and recommendations the sole purpose of ensuring that the railway track always crosses streams in compliance with the permissible routing parameters over streams, valleys, other traffic routes or through tunnels where a railway embankment where a railway embankment alone is not sufficient.

## 7. Bahnübergänge

Dr.-Ing. Eric Schöne <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Gutachter und Berater für Bahnübergangssicherheit, Dresden, Deutschland

<sup>a</sup> Consultant and expert for level crossing safety, Dresden, Germany



Bahnübergänge stellen besondere Kreuzungssituationen dar, an denen sich zwei Verkehrssysteme mit grundlegend verschiedenen Eigenschaften begegnen. Dies führt zu speziellen Anforderungen an die Sicherheit, die vom allgemeinen Eisenbahn- und Straßenverkehr abweichen.

Das Kapitel 7 befasst sich zunächst mit Grundlagen, wobei Definitionen, Anforderungen und Rechtsnormen dargelegt werden. Anschließend steht die bautechnische Gestaltung mit Bahnübergangsbelägen und Entwässerung im Fokus. Den Schwerpunkt des Kapitels bilden die Sicherungsmaßnahmen, wobei zunächst die Technologien und Grundprinzipien überblicksmäßig erläutert und danach die einzelnen nichttechnischen und technischen Sicherungsarten detailliert behandelt werden. Abschließend konzentriert sich das Kapitel auf die Rolle der Bahnübergänge als Gemeinschaftsanlage von Bahn und Straße und liefert Lösungsansätze für komplexe Verkehrssituationen. In sämtlichen Abschnitten werden aktuelle Erkenntnisse aus Forschung und Praxis berücksichtigt.

## Level Crossings



Level crossings are special situations where two traffic systems with fundamentally different characteristics meet. This leads to special safety requirements that differ from general rail and road traffic.

Chapter 7 first deals with the basics, setting out definitions, requirements and legal standards. It then focuses on structural design with level crossing surfaces and drainage. The chapter focuses on safety measures, starting with an overview of the technologies and basic principles, followed by a detailed discussion of the individual passive and active types of safety measures. Finally, the chapter concentrates on the role of level crossings as a joint facility for rail and road and provides solutions for complex road traffic situations. Current findings from research and practice are taken into account in all sections.



## 8. Begrenzungslinien, Lichträume und Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Jänsch <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Schönebeck, Deutschland

Alle Eisenbahnfahrzeuge benötigen für ihre behinderungsfreie Fahrt einen von festen Gegenständen freigehaltenen lichten Raum. Für Fahrzeuge und Infrastruktur gelten gemeinsame Bezugslinien, so nach EN 15273 die Profile G1, G2 und das große Profil GC für Neubaustrecken. Ein Teil der Fahrzeugbewegungen auf dem Gleis wird fahrzeugseitig berücksichtigt, wie die Sehnenstellung des Fahrzeugs im Gleisbogen und ein Teil des Wankens. Die Infrastrukturseite berücksichtigt weitere Auswirkungen von planmäßigen und zufälligen kinematischen Phänomenen, ausgehend von der Bezugslinie und mit pauschalierten Ansätzen für Fahrzeugbewegungen und Gleislageunregelmäßigkeiten. Hieraus ergeben sich Mindestlichträume und Gleisabstände, berechnet entweder nach der älteren statischen Methode oder nach der neueren, kinematischen Methode gemäß EBO von 1991.

Bei Streckenquerschnitten berücksichtigt man u. a. die Aerodynamik vorbeifahrender Züge, Sicherheitsräume neben dem Gleis und Randwege. Bei Bahnsteiganlagen bestimmen Sicherheit und Funktionalität an der Schnittstelle Infrastruktur/Eisenbahnzug die Dimensionierung.

## Reference profiles, infrastructure gauges and cross-sections of railway infrastructures



Railway vehicles need for their restriction-free passage a certain space free of objects, the clearance. Common reference profiles are applicated both for vehicles and infrastructure, to be find in EN 15273 „Gauges“, for example G1, G2 and specially for new European lines the bigger profile GC. A part of the vehicle movements on the track is covered by the vehicle side, as the lateral overthrow on curved tracks and a part of the quasi-static roll. The infrastructure side covers additional movements due to regular and random phenomena, calculated as addition to the reference profile with standard values for vehicle movements and track imperfections. The result are minimum clearances and track distances. Two calculation methods apply: the elder static or the newer kinematic method. The latter was put in the German railway rulebook „EBO“ in 1991. Railway line's cross sections respect further items as aerodynamic of passing trains, danger spaces and safe areas, sidewalks etc.

## 9. Trassierung und Gleisplangestaltung

Dr.-Ing. Fabian Walf

<sup>a</sup> mwp infrastructure concepts GmbH sowie DB InfraGO AG, Berlin, Deutschland



Der Anordnung und Trassierung von Gleisen und Weichen kommt in nahezu allen Planungsphasen eine große – bislang leider oft unterschätzte – Bedeutung zu, da sie maßgeblich die verkehrlich-betrieblichen Eigenschaften des Systems Bahn beeinflussen.

Der Fahrweg ist im System „Eisenbahn“ folglich mitnichten nur ein Kostentreiber, sondern bestimmt in Abhängigkeit von seiner Gestaltung und damit auch in Abhängigkeit von der Trassierung maßgeblich den erzielbaren Nutzen und damit das Nutzen/Kosten-Verhältnis von Neu- und Ausbaumaßnahmen sowie von Optimierungen und Ersatzinvestitionen.

Dieses Kapitel beschreibt im wesentlichen zum einen die technischen Grundlagen bzw. den Rahmen, in dem ein Fahrweg sicher und richtlinienkonform gestaltet werden kann („Spielfeld“ und „Spielregeln“). Zum anderen werden grundlegende Prinzipien für die Gestaltung einer bedarfsgerechten und leistungsfähigen Infrastruktur erläutert (üblicherweise erfolversprechende „Spielstrategien“ und „Spielzüge“).

Mit der pyramidalen Gliederung jedes Abschnitts wird versucht,

- auch Fachfremde für das wichtige und alles andere als „trockene“ Thema Trassierung und Gleisplangestaltung anzusprechen, und zugleich
- den für die Planenden erforderlichen Tiefgang zu gewährleisten.

## Alignment of tracks and planning of infrastructure layouts



The alignment and arrangement of tracks and switches are of great importance – which has unfortunately often been underestimated so far – in almost all planning phases as both have a significant influence on the traffic and operational characteristics of the railway system.

Consequently, the track is by no means only a cost driver in the railway system, but its design and alignment determine the achievable benefit and thus also the benefit/cost ratio of new construction and expansion measures as well as of replacement investments.

The chapter “alignment of tracks and planning of infrastructure layouts” essentially describes the technical basics or the framework in which a track can be designed safely and in accordance with the guidelines ("playing field" and "rules of the game"). On the other hand, general principles for the design of a needs-based and efficient infrastructure are explained (usually promising "game strategies" and "moves").

With the pyramidal structure of each section, an attempt is made

- to also address non-specialists for the important and anything but "dry" topic, and at the same time
- to ensure the necessary depth for the planners.

## 10. Betriebliche Infrastrukturplanung und Infrastrukturgestaltung

Dr.-Ing. Andreas Heppe <sup>a</sup> und Dr.-Ing. Fabian Walf <sup>b</sup>

<sup>a</sup> DB InfraGO AG, Dresden, Deutschland

<sup>b</sup> mwp infrastructure concepts GmbH sowie DB InfraGO AG, Berlin, Deutschland



Die betriebliche Infrastrukturplanung (BIP) ist Teil des Planungsdreiecks aus

- (angestrebtem) Fahrplan- bzw. Kapazitätsangebot,
- Fahrzeug und
- Infrastruktur.

Ein wesentlicher Teil der betrieblichen Infrastrukturplanung umfasst die betriebliche Infrastrukturgestaltung (BIG), das heisst die konkrete Ausgestaltung prinzipiell aller Infrastrukturelemente, die sich auf das Leistungsverhalten auswirken können, z. B.

- Spurplan, Geschwindigkeiten und Längsneigungen etc., und deren Untersetzung durch eine konkrete Trassierung,
- Stationsgestaltung,
- Leit- und Sicherungstechnik (LST).

Die BIG bestimmt maßgeblich den Nutzen der Eisenbahninfrastruktur und bedarf daher besonderer Aufmerksamkeit, da einmal errichtete Infrastruktur nur schwer wieder geändert werden.

Von einer guten BIG hängen auch Attraktivität und Betriebsqualität des Systems Eisenbahn entscheidend ab. Das sogenannte Leistungsverhalten kann durch vielfältige eisenbahnbetriebswissenschaftliche Methoden antizipiert und bewertet werden; die Ergebnisse können direkt in die BIG einfließen.



## Operational Infrastructure Planning and Infrastructure Design

Operational infrastructure planning is part of the so-called “planning triangle” of

- (targeted) timetable or capacity offer,
- rolling stock, and
- infrastructure.

A significant part of operational infrastructure planning includes operational infrastructure design, i. e.

- the concrete configuration of all infrastructure elements that can affect performance (e. g. track layout, speeds and longitudinal inclinations, etc.) and their translation into a detailed alignment of tracks,
- station design,
- signaling.

Operational infrastructure design largely determines the benefits of the railway infrastructure and therefore requires special attention, as it is difficult to change infrastructure once it has been built.

The attractiveness and operational quality of the railway system also depend decisively on a good operational infrastructure design as well: The performance behaviour can be anticipated and evaluated by a variety of methods; the results can be incorporated directly into the design.

# 11. Betriebsführung der Infrastruktur

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachl <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland



Die Betriebsgrundsätze der europäischen Eisenbahnen sind noch immer stark national orientiert und weichen in einzelnen Ländern erheblich voneinander ab. Die Ausführungen in diesem Kapitel beschränken sich daher auf die Situation in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Vergleichbare Regeln gelten auch bei vielen osteuropäischen Bahnen. Bei westeuropäischen Bahnen sind mit Ausnahme der sich stark an den deutschen Grundsätzen orientierenden Luxemburgischen Eisenbahn größere Abweichungen anzutreffen. Für die geplante englischsprachige Ausgabe ist eine stärker generische Darstellung vorgesehen, die sich nicht auf den deutschsprachigen Raum fokussiert.

Das Kapitel stellt die grundlegenden Definitionen für Betriebsstellen und Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen unter Berücksichtigung der Rolle des Fahrplans vor. Die Signalisierung von Zug- und Rangierfahrten wird vergleichend gegenübergestellt. Es wird auf Fragen des Flankenschutzes, auf die betrieblichen Maßnahmen zum Bauen im Betrieb und auf die Behandlung von Störfällen an Sicherungsanlagen eingegangen.

## Operating Infrastructure



The operating principles of European railways are still very nationally oriented and vary considerably in individual countries. For that reason, in the German version of this textbook, this chapter concentrates on the situation in Germany, Austria and Switzerland. Similar rules also apply to many Eastern European railways. With the exception of the Luxembourg railway, which is strongly based on German principles, major deviations can be found on Western European railways. The planned English version will be more generic to make it valuable for international readers.

The chapter presents the basic operational definitions for infrastructure elements and movements with railway vehicles, taking into account the role of the timetable for managing train operations. The signals for train and shunting movements are compared. Questions of flank protection, operational procedures for track construction and maintenance, and the handling of degraded mode situations due to signalling failures are discussed.

## 12. Leit- und Sicherungstechnik

PD Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Radebeul, Deutschland



Der Schienenverkehr ist eines der sichersten Verkehrsmittel. Dies liegt einerseits an der Spurführung, andererseits werden viele Prozesse wie z. B. die Fahrwegsicherung technisch mit hoher Zuverlässigkeit gesteuert. Um das zu erreichen, bedarf es ausgefeilter Verfahren und Techniken, die die Anforderungen des Bahnbetriebs mit Mitteln der Automatisierungstechnik unter Beachtung der Sicherheitswissenschaft realisieren. Durch die Komponenten und Systeme der Leit- und Sicherungstechnik werden Zug- und Rangierfahrten gesichert. Das Kapitel geht zunächst auf Ortungskomponenten und bewegliche Fahrwegelemente ein, bevor die aktuellen Technologien der Fahrwegsicherung – Fahrstraße und Sicherung mit Blockinformationen – hergeleitet und beschrieben werden. Ein Blick auf Stellwerke und Leittechnik sowie ein Exkurs zur Anordnung ortsfester Signale runden das Bild ab. Zuletzt wird auf Zugbeeinflussung eingegangen, einen großen Teil der Beschreibung nimmt dabei ETCS ein.

## Signaling- and Safety Technology



Rail transport is one of the safest modes of transport. On the one hand, this is due to track guidance; on the other hand, many processes such as track safety are technically controlled with a high degree of reliability. In order to achieve this, sophisticated processes and technologies are required to realise the requirements of rail operations using automation technology while taking safety science into account. Train and shunting movements are secured by the components and systems of control and signalling technology. The chapter starts with locating components and movable track elements before the current technologies of track safety - route and safety with block information - are derived and described. A look at signal boxes and control technology as well as an excursus on the arrangement of fixed signals round off the picture. Finally, train control is discussed, with ETCS taking up a large part of the description.

## 13. Funktionale Sicherheit

Prof. Dr. rer. nat. Jens Braband <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Siemens Mobility GmbH, Braunschweig, Deutschland



Programmierbare elektronische Systeme spielen in modernen Eisenbahn-Automatisierungssystemen eine wichtige Rolle. Viele dieser Systeme sind sicherheitsrelevant, sie schützen z. B. direkt das Leben von Passagieren oder Personal. Manche führen relativ einfache Aufgaben aus wie z. B. die Zwangsbremse eines Zuges nach Überfahren eines Haltsignals, während andere relativ komplexe Aufgaben ausführen wie den fahrerlosen Betrieb einer U-Bahn. Daher ist das Sicherstellen der korrekten Funktion des Eisenbahn-Automatisierungssystems eine Schlüsselaufgabe der Sicherheitsarbeit, die als Funktionale Sicherheit bezeichnet wird.

Obwohl eisenbahnspezifische Normen und Regelwerke schon vor über zwei Jahrzehnten eingeführt wurden, wird die Funktionale Sicherheit oft als komplexe und kostenintensive Aufgabe angesehen, selbst von Fachleuten. Dies liegt u. a. darin begründet, dass Normen und Regelwerke nur Minimalanforderungen festlegen, aber wichtige Themen wie Methoden oder Sicherheitsziele nicht normativ vorgegeben werden.

Dieses Kapitel stellt eine strukturierte und gradlinige Einführung in die Funktionale Sicherheit von Eisenbahn-Automatisierungssystemen dar. Insbesondere werden Zusammenhänge und Empfehlungen dargestellt, die über die reine Erfüllung von Normen und Gesetzen hinausgehen. Dazu werden auch zahlreiche zusätzliche Themen wie z. B. Unfallursachenanalyse, risikoorientierte Bewertung von Produktsicherheitsmängeln oder strukturierte Sicherheitsargumentation einbezogen.

## Functional Safety



Programmable electronic systems play a crucial role in modern railway automation systems. Many of these systems are safety-relevant, they protect, for example, directly passengers or staff. Some perform relatively simple tasks such as the emergency brake of a train after passing a stop signal, while others perform relatively complex tasks such as the driverless operation of a subway. Therefore, ensuring the correct function of the railway automation system is a key task of safety work, referred to as functional safety. Although railway-specific standards and regulations were introduced over two decades ago, functional safety is often seen as a complex and cost-intensive task, even by experts. This is due, among other things, to the fact that standards and regulations only set minimum requirements, but important topics such as methods or safety objectives are not normatively prescribed. This chapter provides a structured and straightforward introduction to the functional safety of railway automation systems. In particular, relationships and recommendations are presented that go beyond mere compliance with standards and laws. This also includes numerous additional topics such as accident cause analysis, risk-oriented assessment of product safety deficiencies, or structured safety argumentation.

## 14. Cybersecurity

Dr. Matthias Drodts<sup>a</sup>

Carsten Sattler<sup>b</sup>

<sup>a</sup> DB InfraGO AG, Frankfurt am Main, Deutschland

<sup>b</sup> Siemens Mobility GmbH, Braunschweig, Deutschland



Eisenbahnsysteme sind eines der sichersten Verkehrsmittel und verfügen über ein hohes Maß an Resilienz. Der Fokus liegt hierbei auf der funktionalen Sicherheit (Safety). Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung müssen auch Aspekte der Cybersecurity berücksichtigt werden. Das vorliegende Kapitel ordnet das Thema Cybersecurity in den Kontext des Entwicklungsprozesses und des Betriebs von Eisenbahninfrastrukturen ein. Es werden die wesentlichen Begriffe und regulatorischen Vorgaben erläutert sowie Neuerungen in der Gesetzeslage sowie bei technischen Vorschriften angerissen. Die Unterschiede aber auch Wechselwirkungen der Cybersecurity und der funktionalen Sicherheit werden erläutert. Neben aktuellen Herausforderungen der Cybersecurity im Umfeld der Eisenbahninfrastruktur werden anhand von Best-Practice-Ansätzen konkrete Lösungen zur angemessenen Umsetzung von Cybersecurity beschrieben. Es wird aufgezeigt, wie im statischen Umfeld des Systems Bahn die dynamischen Prozesse der Cybersecurity implementiert werden können inkl. der Zulassungsprozesse. Die Wechselwirkungen der Cybersecurity auf den Eisenbahnbetrieb werden auszugsweise erläutert. Zum Abschluss werden technologische Trends im Umfeld von Eisenbahninfrastrukturen und deren Bedeutung für die Cybersecurity beschrieben.

## Cybersecurity



Railway systems belong to safest traffic facilities and deliver a huge amount of resiliency to the users. Today they address mainly safety properties but due to ongoing digitalization more cybersecurity aspects should be considered. This chapter discusses cybersecurity within the context of the railway system development process as well as together with the operation and maintenance procedures of railway infrastructure managers. Terminology and regulatory guidelines will be explained. Updated legal aspects and technical recommendations and regulations are taken into account. Differences, interdependence and interaction of Cybersecurity and Safety will be explained. Beside current challenges in treating cybersecurity within the railway context, best practice approaches in delivering appropriate cybersecurity measures to railway systems are proposed. It is shown how very dynamic changes in cybersecurity could be applied to a more static railway environment, including assessment activities. How cybersecurity influences railway operation is shortly examined. Finally technological trends in railway infrastructures and their potential significance on cybersecurity treatment is described.

## 15. Elektromagnetische Verträglichkeit

Dr. Wilhelm Baldauf <sup>a\*</sup>, Stefan Jäger <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Beeinflussung EMV/EMF, DB Systemtechnik GmbH, München, Deutschland



Das Themengebiet „Elektromagnetische Verträglichkeit im Bahnbereich“ lässt sich anhand der zu erfüllenden Schutzziele in mehrere Teilbereiche untergliedern:

- Verträglichkeit der Komponenten und Geräte eines Fahrzeuges untereinander, so dass das Fahrzeug bestimmungsgemäß eingesetzt werden kann
- Verträglichkeit der Komponenten, Geräte und Anlagen der Infrastruktur untereinander, so dass die Infrastruktur bestimmungsgemäß arbeiten kann
- Störaussendung von Fahrzeugen in die Außenwelt
- Störaussendung der Eisenbahn-Infrastruktur in die Außenwelt
- Sicheres und hochverfügbares Zusammenwirken von Fahrzeugen mit der Bahn-Infrastruktur
- Begrenzung der Beeinflussung anderer Infrastrukturen wie z.B. Telekommunikations- oder Rohrleitungen durch die Bahn

Ein weiteres Schutzziel ist der Personenschutz. Auswirkungen des 16,7-Hz-Bahnstromes auf Personen werden kurz erläutert. Nicht alle Themen können an dieser Stelle umfassend dargestellt werden, es kann hier nur auf die ganz wesentlichen Grundlagen eingegangen werden.

## Electromagnetic Compatibility (EMC)



The topic of "Electromagnetic Compatibility in the Railway Sector" can be divided into several sub-areas based on the protection goals to be achieved:

- influence on control-command and signalling systems (CCS) and telecommunication systems by traction current (induction in cables running over a longer distance along electrified routes)
- influence on train detection systems by vehicles (axle counter: magnetic field emissions of vehicles into the track area; track circuit: interference current as part of the return current of the vehicle in the rail; railroad crossing loops: magnetic/inductive coupling between loop and metal construction of the vehicle)
- protection of people from electromagnetic fields (electromagnetic field emissions (16,7 Hz / 50 Hz) of stationary systems, e.g. overhead line systems, substations, ...)
- influence on infrastructure-side systems and installations by internal and external high-frequency electromagnetic fields
- influence of the rail surrounding (outside world) by high-frequency interference emissions from the entire railway system

Due to the increasing use of:

- modern converters for the traction and auxiliary power supply of vehicles as well as for stationary power supply systems, with even higher cycle rates and steeper switching flanks
- mobile communication systems for railway operation (GSM-R / ETCS) and in society

ensuring electromagnetic compatibility will become increasingly important in the future.

## 16. Energieversorgung elektrischer Bahnen

Dr.-Ing. Bernd-Wolfgang Zweig <sup>a\*</sup> and Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Rail Power Systems GmbH, Offenbach, Deutschland

<sup>b</sup> Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland



In der Einführung zu diesem Kapitel werden die Aufgaben und Strukturen von Bahnenergieversorgungssystemen erläutert und die in Europa üblichen Bahnstromsysteme vorgestellt. Dabei nehmen die historische und technische Entwicklung sowie die Verbreitung der jeweiligen Bahnstromsysteme einen entsprechenden Raum ein. Insbesondere die Frage nach den Gründen für das in Deutschland, Österreich, der Schweiz, Norwegen und Schweden übliche Einphasenwechselstromsystem mit  $16 \frac{2}{3}$  Hz, 15 kV wird beantwortet. In einem weiteren Abschnitt wird der Stand der heutigen 16,7-Hz- Bahnenergieversorgung der DB AG in ihrer Gesamtstruktur und in ihren Teilsystemen beschrieben. Im Abschnitt „Fahrleitungen“ werden die in Deutschland üblichen Oberleitungs- und Stromschienenbauarten vorgestellt. Dabei beschränkt sich die Darstellung der Oberleitungsbauarten aus Platzgründen im Wesentlichen auf die DB AG. In diesem Abschnitt soll dem Leser ein Überblickswissen zum konstruktiven Aufbau der Regeloberleitungen Re 100 bis Re 330 vermittelt werden. Dabei werden die einzelnen Baugruppen (wie z.B. Längskettenwerke, Quertrageinrichtungen, Maste und Gründungen) vorgestellt. Durch eine große Anzahl von Tabellen und Abbildungen wird eine Schnittstellenbetrachtung der Oberleitung zu anderen Gewerken der Eisenbahninfrastruktur, wie z.B. Oberbau, Leit- und Sicherungstechnik, Brücken, Bahnübergängen, bis hin zum Stromabnehmer elektrischer Triebfahrzeuge erleichtert. In diesem Zusammenhang sind auch die Ausführungen zur Rückstromführung, Bahnerdung und Potentialausgleich zu sehen. Am Schluss des Kapitels werden die Schutzabstände von Personen und von Baumaschinen bei Arbeiten in der Nähe spannungsführender Ober- und Bahnenergieleitungen aufgezeigt. Ein Anhang zu diesem Kapitel enthält eine Zusammenstellung der wesentlichen Regelzeichen für Oberleitungslagepläne.

## Power supply for electric railways



In the introduction to this chapter, the tasks and structures of railway power supply systems are explained, and the railway power systems commonly used in Europe are presented. This includes a discussion of the historical and technical development as well as the distribution of the respective railway power systems. The chapter specifically addresses the reasons behind the use of the single-phase alternating current system with  $16 \frac{2}{3}$  Hz, 15 kV in Germany, Austria, Switzerland, Norway, and Sweden. Another section describes the current state of the 16.7 Hz railway power supply of DB AG in its overall structure and its sub-systems. The section on "Overhead Lines" introduces the overhead line and conductor rail types commonly used in Germany. Due to space constraints, the presentation of overhead line types is mainly limited to DB AG. This section aims to provide the reader with an overview of the structural design of standard overhead lines Re 100 to Re 330. The individual components (such as longitudinal catenary systems, transverse supporting structures, masts, and foundations) are presented. A large number of tables and illustrations facilitate an interface consideration of the overhead line with other railway infrastructure trades, such as trackwork, signalling and safety technology, bridges, level crossings, and even the pantographs of electric traction vehicles. In this context, the discussions on return current, grounding, and potential equalisation are also included. At the end of the chapter, the safety distances for people and construction machinery when working near live overhead and railway power lines are outlined. An appendix to this chapter contains a compilation of the essential standard symbols for overhead line layout plans.

## 17. Stromversorgung der Infrastruktur

Gerhard Wolff <sup>a</sup>

<sup>a</sup> External, Deutschland



In diesem Kapitel werden mit Blick auf die dezentralen Stromversorgungskonzepte Digitaler Stellwerke (DSTW) die Unterschiede in der Stromversorgung der Infrastruktur von Elektronischen Stellwerken (ESTW) und DSTW aufgezeigt.

In den im Netz der Deutschen Bahn seit etwa den 1990er Jahren errichteten ESTW wird die Stromversorgung für alle signaltechnischen Anlagen im Gleisfeld zentral im ESTW erzeugt. Von dort werden die LST-Elemente in den Außenanlagen über LST-Kabel mit Kupferadern direkt angesteuert. Das gesamte LST-System unterliegt der Pflicht zum Erbringen entsprechender Sicherheitsnachweise.

In den neu errichteten DSTW werden Stellbefehle nicht mehr über Signalkabel mit Kupferadern übertragen, sondern über informationstechnische Datennetze mit Lichtwellenleiter-Kabeln. Die Funktionale Sicherheit wird in den Object Controllern der Feldelemente hergestellt.

Die Energieversorgung der signaltechnischen Elemente und Objekte erfolgt unter Verwendung von Standard-Industrieprodukten über eine dezentrale Stromversorgungs-Infrastruktur. Diese Energieversorgungssysteme unterliegen nicht mehr den Anforderungen der Funktionalen Sicherheit. Im Vergleich zu bisherigen proprietären Systemen ergeben sich so auch Kostenvorteile.

Künftig werden neue Stellwerke bei der Deutschen Bahn nur noch in DSTW-Struktur errichtet.

## Power supply for the infrastructure



In this chapter, the differences in the power supply of the infrastructure of electronic interlocking systems (ESTW) and digital interlocking systems (DSTW) are shown with regard to the decentralized power supply concepts of DSTW.

In the ESTW built in the Deutsche Bahn network since around the 1990s, the power supply for all signaling systems in the track field is generated centrally in the ESTW. From there, the control command and signalling (CCS) technology elements in the outdoor facilities are controlled directly via CCS cables with copper conductors. The entire CCS system is subject to the obligation to provide corresponding safety case certificates.

In the newly constructed DSTW, control commands are no longer transmitted via signal cables with copper wires, but via information technology data networks with fiber optic cables. Functional safety is established in the object controllers of the field elements.

The power supply for the signalling elements and objects is provided using standard industrial products via a decentralized power supply infrastructure. These power supply systems are no longer subject to the requirements of functional safety. Compared to previous proprietary systems, this also results in cost advantages.

In future, new interlockings at Deutsche Bahn will only be built in a DSTW structure.

## 18. Kabelanlagen

Dipl.-Ing. Andreas Boldt <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Grundsätze Gleichstrom-Fahrleitungsanlagen, DB AG, Berlin, Deutschland



Kabel unterscheiden sich von Leitungen durch ihren Aufbau und ihre Verwendung.

Kabel sind gegen Umgebungseinflüsse besser geschützt und eignen sich für eine feste Installation sowie für Verlegung in Luft, Erdreich (auch ungeschützt), Wasser, Kabelkanälen, z. B. Betonkabelkanäle im Gleisbereich, Schutzrohren, Formsteinen, Beton, auf Kabelpritschen, Kabelbahnen oder in Kabelrinnen.

Leitungen eignen sich für geschützte Verlegungen und insbesondere für ortsveränderliche Betriebsmittel. Außerdem finden sie Verwendung als Aderleitungen in Steuerungen, Schienenfahrzeugen und in der Bahnstromversorgung, z. B. als Rückleitungsverbinder im Gleisbereich. Leitungen müssen durch ihre Verlegungsart vor mechanischer, thermischer und chemischer Beschädigung geschützt werden, da derartige Beanspruchungen je nach Intensität eine Schädigung oder auch eine vorzeitige Alterung der Isolier- und Mantelwerkstoffe verursachen.

Die Leiter von Kabeln und Leitungen bestehen aus blankem oder metallumhülltem Zinn oder Zinnlegierung, weichgeglühtem Kupfer oder aus Aluminium bzw. aus Aluminiumlegierungen. Aluminiumleiter haben gegenüber Kupfer bei gleichem Gewicht das 3,3-fache Volumen. Der leitwertgleiche Querschnitt beträgt das 1,5-fache im Vergleich zu Kupfer. Das leitwertgleiche Gewicht beträgt nur die Hälfte von Kupfer. Damit sind Kabel mit Aluminiumleiter deutlich leichter.

## Cable Systems



Cables differ from wires in their construction and use. Cables are better protected against environmental influences and are suitable for permanent installations as well as for laying in air, soil (even unprotected), water, cable ducts (e.g., concrete cable ducts in track areas), protective pipes, shaped stones, concrete, on cable trays, cable paths, or in cable channels.

Wires are suitable for protected installations and are particularly used for portable equipment. They are also used as core wires in control systems, rail vehicles, and in railway power supply, e.g., as return conductors in track areas. Wires must be protected by their installation method from mechanical, thermal, and chemical damage, as such stresses, depending on their intensity, can cause damage or premature aging of the insulation and sheath materials.

The conductors of cables and wires are made of bare or metal-coated tin or tin alloy, soft-annealed copper, or aluminum and aluminum alloys. Aluminum conductors have 3.3 times the volume of copper at the same weight. The equivalent conductive cross-section is 1.5 times that of copper, while the conductive weight is only half that of copper. Therefore, cables with aluminum conductors are significantly lighter.

## 19. Lärm und Erschütterungen

Dr. Bernd Asmussen und Christian Frank

Plön; DB InfraGO AG, Frankfurt am Main



Die Emissionen von Lärm und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr zählen zu den im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genannten Immissionen, die geeignet sind, Gefahren oder erhebliche Belästigungen in der Umgebung von Eisenbahninfrastruktur herbeizuführen. In diesem Kapitel werden die Entstehungsmechanismen für Lärm und Erschütterungen erläutert und die wichtigsten technischen Möglichkeiten zu deren Begrenzung durch Maßnahmen an der Eisenbahninfrastruktur beschrieben. Die wichtigsten Messmethoden und Messgrößen für Erschütterungen werden erläutert. Zum Schutz vor Lärm dienen insbesondere Schallschutzwände und das Schleifen der Schienenoberflächen. Zum Schutz vor Erschütterungen werden meist elastische Elemente in den Oberbau eingebracht. Beim Neubau oder einer wesentlichen Änderung eines Schienenweges sind Maßnahmen zum Schall- und Erschütterungsschutz bereits im Planungsstadium zu berücksichtigen. Dazu ist eine Prognose des zu erwartenden Primär- und Sekundärluftschalls und der zu erwartenden Auswirkungen auf die Erschütterungen zu erstellen. Die Grundsätze der Prognosen einschließlich der relevanten gesetzlichen Grundlagen werden erläutert und Hinweise zum Planungsverfahren gegeben.

### Noise and Vibration



Emissions of noise and vibration are listed in the Federal Immission Control Act (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) as potential hazards and substantial annoyance in the vicinity of railway lines. This section will explain generation mechanisms for noise and vibration and the most important technical options for reduction focusing on infrastructure related technologies. Relevant indicators and measurement methods for vibration will be introduced. Noise protection is mainly provided in Germany by noise barriers and regular grinding of the rail surfaces. Elastic components in the superstructure of railway lines prevent the transmission of vibrations from the track into the ground. Noise and vibration control measures must be considered already in the planning phase, when new railway infrastructure is being built or existing infrastructure is expanded. This includes a prediction of future noise (both direct and structure borne noise) and vibration. The German national legislation relevant for the planning process and main principles of prediction tools will be explained including guidance for practical application.

## 20. Vegetationsmanagement

Felix Gerhardt und Dr. Michael Below

DB InfraGO AG, Frankfurt am Main



Ziel des Vegetationsmanagements entlang von Bahnstrecken ist es, die Betriebssicherheit zu gewährleisten und die Verfügbarkeit des Fahrwegs zu erhalten. Dabei werden die Ansprüche aller stakeholder (z.B. Anwohner, Naturschutz) bewertet und beachtet.

Im direkten Gleisbereich sorgen hauptsächlich chemische Verfahren für die notwendige Unkrautfreiheit. An alternativen Verfahren (mechanisch, thermisch, elektrisch) und alternativen Wirkstoffensucht die DB in enger Netzoperation mit Nachbarbahnen und Wissenschaft.

Außerhalb des Gleisbereichs kommen ausschließlich mechanische und motormanuelle Verfahren der Vegetationskontrolle zum Einsatz. Jährliche gleisnahe Rückschnitte stellen die notwendigen Sichtachsen und Abstände zu Bahnanlagen sicher. Die Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen wird regelmäßig von Fachleuten bewertet und forstliche Leitbilder sorgen für Resilienz der Baumbestände gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels.

## Vegetation Management



The aim of vegetation management along railway lines is to ensure operational safety and maintain the availability of the track. The requirements of all stakeholders (e.g. residents, nature conservation) are assessed and taken into account.

In the immediate track area, chemical processes are mainly used to ensure the necessary freedom from weeds. DB is researching alternative processes (mechanical, thermal, electrical) and alternative active ingredients in close cooperation with neighboring railways and science.

Outside the track area, only mechanical and motor-manual vegetation control processes are used. Annual pruning near the tracks ensures the necessary lines of sight and distances to railway facilities. The stability and resistance of trees is regularly assessed by experts. Forestry guidelines ensure that tree populations are resilient to the effects of climate change.



## **21. Schutz von Natur und Landschaft, Strahlenschutz, Trinkwasserhygiene in Trinkwasser-Befüllungsanlagen**

Martina Lüttmann <sup>a\*</sup>, Holger Tobergte <sup>b\*</sup>, Samantha Tlustowski <sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> Umweltschutz, DB InfraGO AG, Berlin, Deutschland

<sup>b</sup> Strahlenschutz, DB AG, Minden, Deutschland

<sup>c</sup> Hygiene, DB AG, Frankfurt, Deutschland

Bau und Betrieb von Eisenbahnanlagen können Auswirkungen auf die Umwelt haben. Die strengen Vorschriften auf europäischer und nationaler Ebene z.B. zum Arten- und Biotopschutz verlangen daher, dass bereits in frühen Planungsphasen betrachtet wird, welche Auswirkungen zu erwarten sind und wie diese vermieden oder kompensiert werden können. Im DB Konzern wird auch mit ionisierender Strahlung umgegangen. Zur Einhaltung der rechtlichen Vorgaben und Sicherstellung des Schutzes von Mensch, Tier und Umwelt wurde eine Strahlenschutzorganisation mit Strahlenschutzverantwortlicher Person, Strahlenschutzbevollmächtigtem und Strahlenschutzbeauftragten etabliert. Als Beispiele für den Umgang mit ionisierender Strahlung kann man den Einsatz von Röntgeneinrichtungen oder Störstrahlern und den Einsatz von Isotopensonden anführen.

In Deutschland wird in den Zügen das Wasser den Kunden und Kundinnen in Trinkwasserqualität bereitgestellt. Dies wird durch die Trinkwasserverordnung gesetzlich verpflichtet und im Bereich der bundeseigenen Bahnen durch das Eisenbahn-Bundesamt behördlich überwacht. Dabei müssen die Anlagen zur Befüllung eine Reihe an gesetzlichen und normativen Anforderungen erfüllen, um so Wasser in Trinkwasserqualität zu gewährleisten.



## **Protection of nature and landscape, radiation protection, drinking water hygiene in drinking water filling plants**

The construction and operation of railway facilities can have an impact on the environment. The strict regulations at European and national level, e.g. on species and biotope protection, therefore require that early planning phases consider what impacts are to be expected and how they can be avoided or compensated.

The DB Group also deals with ionizing radiation. In order to comply with legal requirements and ensure the protection of people, animals and the environment, a radiation protection organization with a person responsible for radiation protection, a radiation protection representative and a radiation protection officer has been established. Examples of how to deal with ionizing radiation include the use of X-ray devices or stray emitters and the use of isotope probes.

In Germany, the water provided to customers on trains is of drinking water quality. This is legally required by the Drinking Water Ordinance and, in the area of federally owned railways, is officially monitored by the Federal Railway Authority. The filling systems must meet a number of legal and normative requirements in order to guarantee water of drinking quality.



## **22. Entsorgung von Abfällen und Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen bei Bau und Instandhaltung**

Dirk Melchert

DB InfraGO AG, Frankfurt am Main

In jedem Bauvorhaben der DB InfraGO AG fallen Abfälle an, die ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder gemeinwohlverträglich beseitigt werden müssen. Dies wird durch umfangreiche, über viele Jahre weiterentwickelte, abfallrechtliche Vorgaben reguliert, kontrolliert und dokumentiert. In zunehmendem Maß werden Abfälle als Sekundärrohstoffe angesehen, die Primärrohstoffe ersetzen können. Diese Möglichkeit besteht insbesondere bei mineralischen Bauabfällen, den mit jährlich 240 Mio t größten Abfallstrom in Deutschland. Allein bei der DB AG fallen jährlich 10 Mio t Boden, Bauschutt, Gleisschotter und Betongleisschwellen an. Mit der am 01.08.2023 in Kraft getretenen Ersatzbaustoffverordnung (EBV) wird der Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen (mEB) in technischen Bauwerken rechtsverbindlich und bundeseinheitlich geregelt, womit ein wichtiger Beitrag zum ressourcenschonenden Einsatz von mineralischen Materialien geleistet wird.



## **Disposal of waste and installation of mineral substitute building materials during construction and maintenance**

Every DB InfraGO AG construction project produces waste that must be properly and harmlessly recycled or disposed of in a way that is compatible with the common good. This is regulated, controlled and documented by extensive waste regulation that has been developed over many years. Waste is increasingly seen as secondary raw material that can replace primary raw materials. This possibility exists in particular for mineral construction waste, the largest waste stream in Germany at 240 million tonnes per year. DB AG alone generates 10 million tons of soil, construction waste, track ballast and concrete sleepers every year. The Substitute Building Materials Ordinance (EBV), which came into force on August 2023, regulates the use of mineral substitute building materials (mEB) in technical structures in a legally binding and nationwide manner, making an important contribution to the resource-saving use of mineral materials.

## 23. Asset Management Fahrweg

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Veit,

Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, Technische Universität Graz, Österreich



Asset Management dient der Optimierung des Fahrwegs. Dabei gilt: Asset Management = Life Cycle Management. Drei Fragen müssen dabei beantwortet werden: Welche Komponenten sind wo einzubauen (Investitionsstrategie). Ebenso spezifische Instandhaltungsstrategien auszuarbeiten. Schließlich muss die wirtschaftlichen Nutzungsdauer bestimmt werden.

Für diese Aufgaben eignet sich die Methode der Standardelemente, und zwar sowohl für das strategische als auch das operative Asset Management. Dabei wird die jeweilige technische Beschreibung des Fahrwegs ebenso in ihren Kosten abgebildet und mittels dynamischer Investitionsrechnungen bewertet.

Life Cycle Management zielt auf einen nachhaltigen und kostenoptimierten Fahrweg. Alle bisherigen Analysen zeigen, dass dies neben den weitgehend vorliegenden Messdaten vor allem eine Weiterentwicklung der Messdatenanalysen erfordert, um mittels Zeitreihen stabile Prognosen zu erarbeiten.

Es zeigt sich, dass ein noch nachhaltigerer Fahrweg weitere Qualitätssteigerungen bedarf. Qualität bezieht sich dabei auf die Ausgangsqualität sowie die erforderliche Instandhaltung. Kurzfristensparungen hingegen führen zu massiven Kostensteigerungen und konterkarieren die Nachhaltigkeit.

## Asset Management Track



The task of asset management is optimising the permanent way. The following applies: Asset Management needs to be Life Cycle Management. Three questions are to be answered: Which components should be installed where (investment strategy). How to maintain the components and the entire track (maintenance strategies). Finally, the economic service life must be determined.

The standard element method is suitable for these tasks, both for strategic and operational asset management. The respective technical description of the track is also mapped in terms of its costs and evaluated using dynamic investment calculations.

Life Cycle Management aims to achieve a sustainable and cost-optimized track/turnouts. All previous analyses show that, in addition to the largely available measurement data, this primarily requires further development of the measurement data analyses in order to develop stable forecasts using time series.

It is clear that an even more sustainable track requires further quality improvements. Quality refers to the initial quality and the necessary maintenance. Short-term savings, on the other hand, lead to massive cost increases and counteract sustainability.

## 24. Ökobilanzierung der Eisenbahninfrastruktur

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Landgraf

Evias e.U., Graz, Österreich



Die Betrachtung der Nachhaltigkeit in Hinblick auf Eisenbahninfrastruktur ist von großer Bedeutung, da der Verkehrssektor insgesamt einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt, die Wirtschaft und die soziale Lebensqualität aufweist. Dabei gilt es, ökologische, soziale und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen, um langfristige Vorteile für die Gesellschaft zu gewährleisten. Die Ökobilanzierung von Eisenbahninfrastruktur ermöglicht die Berücksichtigung ökologischer Parameter über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage. Damit kann die langfristige Ressourceneffizienz der bereits heute nachhaltigsten Form motorisierter Mobilität weiter optimiert werden. In diesem Kapitel wird die methodische Herangehensweise erläutert sowie durch bereits durchgeführte Berechnungs- und Anwendungsbeispiele untermauert. Dabei wird aufgezeigt, wie Umweltwirkungen in den Phasen der Beschaffung, Planung und des Anlagenmanagements von Eisenbahninfrastruktur berücksichtigt werden können. Darüber hinaus wird die mögliche Schonung von Ressourcen sowie die Verringerung von Treibhausgasemissionen durch die Implementierung von Kreislaufwirtschaft aufgezeigt.

## Life Cycle Assessment of railway infrastructure



The sustainability of railway infrastructure is of great importance, as the transport sector has a significant impact on the environment, the economy and social quality of life. Environmental, social and economic aspects must be taken into account in order to ensure long-term benefits for society. The life cycle assessment of railway infrastructure enables ecological parameters to be considered over the entire life cycle of an asset. This helps us to further optimize the resource efficiency of what is already the most sustainable form of motorized transport. In this chapter, the methodological approach is elaborated and underpinned by calculations and applications that have already been carried out. It shows how environmental impacts can be implemented in the procurement, planning and asset management phases of railway infrastructure. Additionally, we point out the possible savings of scarce resources as well as the mitigation of greenhouse gas emissions through the implementation of a circular economy.

## 25. Die Beanspruchung des Fahrwegs

Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Marschnig,

Dipl.-Ing. Ursula Ehrhart;

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, Technische Universität Graz, Österreich



Die Beanspruchung des Fahrwegs und die damit verbundenen Instandsetzungsaufwendungen lassen sich gut mit Hilfe von Gesamtbruttotonnen abschätzen, solange die Randbedingungen gleichbleiben. Bei Änderungen im Verkehrskollektiv, der Betriebsgeschwindigkeit und den eingesetzten Fahrzeugen greift dieser Ansatz jedoch zu kurz. Es bedarf einer spezifischen Betrachtung der Komponentenschädigungen und deren Beschreibung anhand von Schädigungstermen. Solche Schädigungsgesetze existieren bereits, die Forschung arbeitet daran, diese empirisch zu belegen und gegebenenfalls anzupassen. Die Sichtbarkeit der Auswirkungen unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte im Instandhaltungsregime des Fahrwegs ist oft limitiert, da sich in Mischverkehrsnetzen viele Faktoren zeitgleich und laufend ändern. Steigende Zugzahlen und damit Fahrwegbeanspruchungen führen jedoch jedenfalls zu höheren Instandsetzungsaufwänden. Es ist daher wichtig, die Fahrwegschädigung durch technische Innovation möglichst gering zu halten. Dies erfordert Anstrengungen sowohl auf Seiten der Infrastruktur als auch der Fahrzeugindustrie. Letztlich ist das bestmögliche Zusammenwirken von Fahrzeug und Fahrweg der Schlüssel für ein wirtschaftlich gut performendes Bahnsystem.

## Stresses on the track



Track loading and the consecutive maintenance costs can be estimated sufficiently using the indicator gross-tonnage as long as the boundary conditions remain the same. However, changes in the traffic collective, the operating speed and the vehicles used ask for another approach. Specific considerations of component damage described by damage terms are required. Such general damage mechanisms already exist. Research focuses on empirically proves and adaptation where necessary. The visibility of the effects of different vehicle concepts in the track maintenance regime is often limited, as many factors change simultaneously and continuously in mixed traffic networks. However, increasing train runs and thus track loads lead to higher maintenance costs in any case. Technical innovation is needed to keep track damage on a tolerable level. This requires efforts of both the infrastructure and the vehicle industry. Ultimately, the best possible interaction between vehicle and track is the key to a well performing and economic railway system.

## 26. Netzzugang

DI Roland Pavel, Alfred Pitnik, DI Robert Prinz,  
Mag. Ulrich Rührnöbl, Dr. Katja Skodacsek, DI Wolfgang Strehn  
Netzzugang, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien, Österreich



Die wesentlichen Funktionen, die ein Mitgliedstaat unabhängig zu erbringen hat, sind in Kapitel II, Artikel 7 der „Richtlinie 2012/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates (vom 21. November 2012) zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Eisenbahnraums“ festgelegt. Dabei handelt es sich erstens um die Entscheidungen über die Zugtrassenzuweisung, einschließlich der Beurteilung zur Verfügbarkeit und zweitens um die Entscheidung über die Wegeentgelte, einschließlich ihrer Festlegung und Erhebung.

Die Mitgliedsstaaten haben sicher zu stellen, dass diese beiden wesentlichen Funktionen, die für einen gerechten und nichtdiskriminierenden Zugang zur Infrastruktur ausschlaggebend sind, an von Eisenbahnverkehrsleistungen unabhängige Stellen oder Unternehmen zu übertragen sind.

Als Grundlage für die Wahrnehmung dieser Zugangsrechte sind seitens des Infrastrukturbetreibers Schienennetz-Nutzungsbedingungen zu erstellen und zu veröffentlichen, welche die dafür notwendigen Informationen zum Infrastrukturangebot (Fahrwegkapazität, angeschlossene Serviceeinrichtungen, Zusatz- und Nebenleistungen) sowie umfassende Zugangsbedingungen enthalten.

Welche konkreten operativen Aufgaben für den Netzzugang daraus resultieren, welche Entwicklungen bisher stattgefunden haben, welche Ziele zu verfolgen und welche Herausforderungen in Zukunft zu meistern sind, werden im Kapitel „Netzzugang“ dargelegt.

## Network Access



The essential functions that a member state shall ensure independently are defined in Chapter II, Article 7 of "Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council (of November 21, 2012) establishing a single European railroad area". These are, firstly, decision-making on train path allocation, including the assessment of availability, and secondly, decision-making on infrastructure charging, including determination and collection of the charges.

Member States shall ensure that these two essential functions, which are crucial for equitable and non-discriminatory access to rail infrastructure, are entrusted to bodies or firms that do not themselves provide any rail transport services.

As a basis for the exercise of these access rights, the infrastructure manager shall develop and publish a network statement containing the necessary information on the infrastructure offer (infrastructure capacity, connected service facilities, additional and ancillary services) as well as comprehensive access conditions.

The specific operational tasks for network access resulting from this, the developments that have taken place so far, the objectives to be pursued and the challenges to be overcome in the future are set out in chapter "Network access".

## 27. Werkzeuge zur Anlagenbewirtschaftung des Fahrwegs



Dr. Ivan Vidovic <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Voest Alpine Signaling Austria GmbH, Zeltweg, Österreich

Ulrich Erdmann <sup>b\*</sup>

<sup>b</sup> Erdmann-Softwaregesellschaft mbH, Görlitz, Deutschland

Die Anforderungen an das System Bahn sind nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Zugzahlen, bei nahezu gleichbleibenden Strecken- und Gleiskilometern, gestiegen. Damit einhergehen auch veränderte und gestiegene Anforderungen an die Eisenbahninfrastrukturbetreiber hinsichtlich Bewirtschaftung und Verwaltung. Folglich ist modernes Anlagenmanagement ohne digitale Tools und Systeme kaum mehr möglich, da sich die Komplexität des Systems und Anzahl der zu bewirtschaftenden Anlagen merklich erhöht haben. Das hat zur Folge, dass immer mehr Systeme eingesetzt werden, die zur Bewältigung der notwendigen Kapazitätssteigerung notwendig sind und aufeinander abgestimmt werden müssen. Die eingesetzten Systeme lassen sich in Hardware und Software einteilen, wobei erstere vordergründig für die Zustandserfassung und Bewertung des Fahrwegs eingesetzt werden und letztere einerseits in Datenbanksysteme, die zur Verwaltung von Anlagendaten eingesetzt werden, oft auch als Infrastrukturmanagementsysteme bezeichnet, und andererseits Diagnosesysteme (Monitoringsysteme), mit Fokus auf die Analytik, eingeteilt werden können. In diesem Kapitel werden die Anforderungen an digitale Asset Management Systeme beleuchtet und gleichzeitig Vorteile von integrierten, bereits im Einsatz befindlichen Systemen präsentiert. Anhand von praktischen Beispielen erhält der Leser einen Einblick in modernste Lösungen, die Infrastrukturbetreiber bei ihren täglichen als strategischen Fragestellungen unterstützen.

### Tools for Asset Management of Track



The growing number of trains has increased the pressure on the railway system, not least because the number of lines and track kilometres has remained almost constant. This is also accompanied by changed and greater challenges for railway infrastructure operators in terms of management and administration. As a result, modern asset management is hardly possible without digital tools and systems, as the complexity of the system and the number of assets to be managed have grown significantly. As a result, more and more systems are being used, which are required to cope with the necessary capacity increase and must be harmonised with each other. The systems in use can be categorised into hardware and software, whereby the former are primarily used to assess and evaluate the condition of the track and the latter can be divided into database systems, which are used to manage asset data and are often referred to as infrastructure management systems, and diagnostic systems (monitoring systems), with a focus on analytics. This chapter examines the prerequisites for digital asset management systems and at the same time demonstrates the advantages of integrated systems that are already in use. By means of practical examples, the reader is given an insight into state-of-the-art solutions that support infrastructure operators in their daily and strategic tasks.



## **28. Modellbildung als wichtiger Baustein für Gesamtsystemverständnis und Virtuelle Zulassung**

Dr. Klaus Six, Virtual

Vehicle Research GmbH

Dr. Stephan Scheriau,

voestalpine Rail Technology GmbH

Die Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrweg sowie deren Auswirkungen auf bestimmte Schadensformen werden von einer Vielzahl von Einflussgrößen bestimmt. Simulationsmodelle können dabei wesentlich zum Systemverständnis beitragen, wobei es wichtig ist, das für die konkrete Fragestellung passende Modellsetup festzulegen. In diesem Abschnitt wird dies anhand eines Beispiels, der Weiche, skizziert. Langzeiteffekte wie z.B. die Veränderung der vertikalen Gleisgeometrie, Schienenprofilveränderungen im Herzstückbereich und an der Zungenschiene werden mithilfe eines physik-basierten Modellierungsansatzes beschrieben. Dabei werden verschiedene Submodelle miteinander verknüpft und in mehreren Berechnungsschleifen durchlaufen. Die Zwischenergebnisse aus den Submodellen werden als Input für die nächste Berechnungsschleife bereitgestellt. Auf diese Weise ist es möglich, die Komplexität der relevanten Interaktionen abzubilden und die kontinuierliche Degradation von Komponenten zu beschreiben. Werden Messdaten aus dem Betrieb in die Simulation mit aufgenommen kann mit dieser Modellierungsmethodik das Verhalten von Komponenten zuverlässig prognostiziert werden.



## **Modelling as an important building block for overall system understanding and virtual approval**

The interaction between railway vehicles and track systems and its effects on different damage forms are determined by a large number of influencing factors. Simulation models can make a significant contribution to understanding the system, whereby it is important to determine the appropriate model setup for the specific problem. In this section, this is outlined using an example, the turnout. Long-term effects such as the change in vertical track geometry, rail profile changes in the crossing area and on the switch rail are described using a physics-based modeling approach. Various sub-models are linked together and run through several calculation loops. The intermediate results from the sub-models is provided as input for the next calculation loop. In this way, it is possible to map the complexity of the relevant interactions and describe the continuous degradation of components. If measurement data from service is included in the simulation, the behaviour of components can be reliably predicted using this modelling methodology.

## 29. Building Information Modeling (BIM)

Dipl.-Ing. Steffen Scharun

OBERMEYER Infrastruktur GmbH & Co.KG, München, Deutschland

M.Sc. Anne Schacherl

DB InfraGO AG, Frankfurt am Main, Deutschland



Building Information Modeling (BIM) ist eine Arbeitsmethodik, die seit einigen Jahren verstärkt im Infrastrukturbereich und damit auch im Eisenbahninfrastrukturbereich zum Einsatz kommt. Basis der Methodik ist die kollaborative Zusammenarbeit aller Beteiligten mit Hilfe zentral bereitgestellter digitaler Bauwerksinformationen in Form virtueller Bauwerksmodelle. Dadurch sollen allen involvierten Stakeholdern die für sie relevanten Daten verfügbar gemacht werden, um Entscheidungen zielgerichteter und Prozesse effizienter gestalten zu können. Dadurch sollen Zeit und Kosten gespart sowie Ressourcen geschont werden.

Die BIM-Methodik kommt aktuell in immer mehr Infrastrukturprojekten zum Einsatz. Historisch bedingt wurde die BIM-Implementierung in Deutschland im Bereich der Planung begonnen. Mittlerweile wird der Einsatz auch verstärkt bei der Bauausführung vorangetrieben. Ziel ist es jedoch, die BIM-Methodik auch in der Betriebsphase und damit über den gesamten Lebenszyklus der Infrastrukturanlagen zu etablieren. Das Kapitel gibt einen Überblick über die bisherige Entwicklung und den aktuellen Stand der BIM-Implementierung im Eisenbahninfrastrukturbereich in Deutschland und wagt einen Ausblick in die Zukunft.

## Building Information Modeling (BIM)



Building Information Modelling (BIM) is a working method that has been increasingly used in the infrastructure sector, and therefore also in the railway infrastructure sector, for several years. The methodology is based on the collaborative cooperation of all participants with the help of centrally provided digital building information in the form of virtual building models. The aim is to make the relevant data available to all stakeholders involved so that decisions can be made in a more targeted manner and processes can be organised more efficiently. This should save time and costs and conserve resources.

The BIM methodology is currently being used in more and more infrastructure projects. Historically, BIM implementation in Germany began in the design sector. In the meantime, its use is also being increasingly promoted in the construction phase. However, the aim is to also establish the BIM methodology in the operating phase and thus over the entire life cycle of infrastructure facilities. This chapter provides an overview of the development to date and the current status of BIM implementation in the railway infrastructure sector in Germany and attempts to provide an outlook for the future