

Modernisierung von Bahnanlagen mithilfe von Commercial-off-the-Shelf-Technologie

Modernising railway systems using Commercial-off-the-Shelf technology

Manfred Gilliam | Sabine Konradi

Ein neuer, selbstbestimmter Weg für Bahnbetreiber: Modernisierung bestehender, veralteter proprietärer Sicherheits- und Steuerungssysteme mit Standardtechnologie. Auf der ganzen Welt leidet die Bahnindustrie unter einem erheblichen Modernisierungstau. Durch die fortschreitende Digitalisierung spielt Elektronik in der Bahnindustrie weltweit eine immer größere Rolle, was zu einer regelrechten Modernisierungswelle geführt hat. Für Bahnbetreiber ist eine selbstbestimmte Modernisierung bestehender, veralteter oder defekter Technik auf intelligente, wirtschaftliche und zukunftssichere Weise, bei der keine Kompromisse gemacht werden müssen, ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Um den Spagat zwischen Kosten- und Modernisierungsdruck zu schaffen, suchen Bahnunternehmen nach möglichst kosteneffizienten Steuerungslösungen.

Wir leben in einer Ära, in der Mobilität und Transport einem beispiellosen Wandel unterliegen. Das gilt auch für die Schiene. Der anhaltende Trend der Urbanisierung und die wachsende Weltbevölkerung mit Megastädten fordern von Bahnbetreibern erhöhte Kapazitäten im Personentransport. Dabei wird die Digitalisierung eine wichtige Rolle spielen, während veraltete Steuerungstechnik ersetzt werden muss. Laut der „Machbarkeitsstudie zum Roll-out von ETCS und digitalen Stellwerken (DSTW)“ könnten digitale Technologien die Kapazität im Personen- und Güterverkehr um bis zu 20% erhöhen. Die Nutzung von standardisierten Technologien und Komponenten, die bereits auf dem Markt verfügbar sind, würde einen kosteneffizienteren und auch schnelleren Roll-out bedeuten. Da die Digitalisierung die Bahnindustrie ständig unter Druck setzt, benötigt der Markt dringend eine Technologie, die schnell einsatzbereit ist. Gleichzeitig muss diese Technologie interoperabel (Standardchnittstellen), weltweit verfügbar (Zertifizierungen), digitalfähig (Programmierbarkeit) und flexibel (nicht proprietär) sein. Die einzige Lösung, die all diese Kriterien erfüllt, ist bewährte Commercial-off-the-Shelf (COTS)-Technologie. Obwohl es sich bei der Bahnindustrie um einen relativ geschlossenen Markt mit hohen Eintrittshürden handelt, besteht die Gefahr, dass die bestehenden Marktteilnehmer ohne die baldige Entwicklung von Lösungen, die für das vernetzte Zeitalter geeignet sind, ins Hintertreffen geraten oder Marktanteile an neue Akteure verlieren. Standardtechnologie ist die Zukunft – und für Bahnbetreiber ein wichtiger Faktor: Eine Studie des International Railway Research Board (IRRB) und des Internationalen Eisenbahnverbandes (International Union of Railways, IUR) zeigt, dass Standardtechnologie der Schlüssel zum Erfolg sein wird. Die Untersuchung sieht eine „Konvergenz hin zu einem globalen Bahnsystem mit einem Höchstmaß an Interoperabilität sowie einem globalen Bahnversorgungsmarkt. Viele Bahn- und Transitnetze auf der ganzen Welt stehen unter enormem Druck, ihre Infrastruktur auszubauen und ihr

Opening up a self-determined way for railway operators to modernise existing, outdated proprietary safety and control systems with standard technology. There is an enormous modernisation backlog in the railway industry worldwide. Advancing digitalisation means that the share of electronics in the railway industry is constantly increasing worldwide. This has resulted in a massive wave of modernisation. For railway operators, the self-determined and uncompromising modernisation of existing, outdated or defective control technology in an intelligent, economical and future-proof manner constitutes a key success factor. Railway companies are looking for control solutions that are as cost-efficient as possible in order to manage the balancing act between cost and modernisation pressures.

We live in an era of unprecedented transformation in mobility and transport. This is also true for rail. The continuous trend of urbanisation and a growing world population with mega cities requires rail operators to increase their passenger transportation capacities. Digitalisation will have an important role to play here, while outdated control technology has to be replaced. According to the “Feasibility Study on the Roll-Out of ETCS and Digital Interlockings (DSTW)”, digital technologies could increase passenger and goods traffic capacity by up to 20%. The use of standardised technologies and components that are already available on the market will lead the way to a more cost-efficient and rapider roll-out. The market is in urgent need of technology that is quickly deployable, because digitalisation is placing the rail industry under constant pressure. At the same time, however, this technology must also be interoperable (standard interfaces), globally available (certification), digitally enabled (programmable) and flexible (non-proprietary). The only technology that meets all these criteria is proven Commercial-off-the-Shelf (COTS) technology. Despite the rail industry being a somewhat closed market with high entry barriers, the existing players risk getting left behind or losing market share to new players, if they fail to quickly develop solutions that are suitable for the networked age. Standard technology is the future and this is an important factor for rail operators. A study by the International Railway Research Board (IRRB) and the International Union of Railways (IUR) indicates that standard technology will be the key to success. The research identifies a “convergence towards a global rail system with a maximum degree of interoperability, as well as a global railway supply market. Many rail and transit networks around the world are under enormous pressure to bolster their infrastructures and enhance their services, while

Dienstleistungsangebot zu verbessern, während sie sich gleichzeitig abnehmenden öffentlichen Investitionen und stetig steigender Nachfrage gegenübersehen.“ [2] Heute ist der Markt für Leit- und Signaltechnik stark fragmentiert und wird von proprietärer Technologie dominiert, die oft von einem bestimmten Original Equipment Manufacturer (OEM) für ein einzelnes nationales Schienennetz maßgeschneidert wird. Geprägt durch eine unzureichende Produktstandardisierung ist der grenzüberschreitende Verkehr oft kompliziert und kostenintensiv, da die Züge mit mehreren Systemen ausgestattet werden müssen, für die das Personal entsprechend zu schulen ist. Kleine länderspezifische Produktserien führen auch zu hohen Wartungs- und Ersatzteilkosten, da die Bahnbetreiber vom ursprünglichen Systemhersteller abhängig sind (Vendor Lock-in). Der monopolistische Bahntechnikmarkt zeichnet sich durch hohe Beitrittschürden und wenig Wettbewerb aus – beides treibt die Preise in die Höhe und behindert Innovationen.

1 Digitale Transformation als Chance für Bahnbetreiber

Die digitale Transformation der Bahnindustrie bringt große Chancen, aber auch erhebliche Herausforderungen für Bahnbetreiber mit sich. Die Digitalisierung wird dem Eisenbahnsektor die Möglichkeit geben, seine Effizienz und Konkurrenzfähigkeit zu verbessern. Digitale Stellwerke ermöglichen eine dichtere Zugfolge und damit eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur. Die flächendeckende Einführung standardisierter digitaler Stellwerke wird die Wartungskosten deutlich reduzieren.

Andererseits erfordert die Digitalisierung der Bahn erhebliche finanzielle Investitionen. Oft fehlt es an Ressourcen für Investitionen in neue Technik und Modernisierungen. Dies hat dazu geführt, dass Systeme über das Ende ihrer Lebensdauer hinaus betrieben werden. Die schiere Menge an veralteter Technik, die sich noch im Einsatz befindet, macht die Digitalisierung zu einer großen Herausforderung. Es sind immer noch viele proprietäre Einzellösungen im Einsatz, die Interoperabilität und konsistenten Datenaustausch nahezu unmöglich machen.

2 Kurzübersicht: Modernisierungsinitiativen im Schienenverkehr in den wichtigsten Märkten rund um den Globus

Die Notwendigkeit für Bahnbetreiber, veraltete oder defekte Leittechnik zu modernisieren, zeigt sich auf der ganzen Welt. Laut der UNIFE-Global-Rail-Studie [3] verzeichnete der Schienenversorgungsmarkt in den letzten Jahren ein konstantes Wachstum, angetrieben durch erhebliche Investitionen in den Bereichen Dienstleistungen, Infrastruktur und Bahnsteuerung. Insbesondere Westeuropa und der asiatisch-pazifische Raum haben zur positiven Entwicklung des Marktes beigetragen. Die Studie prognostiziert im Zeitraum von 2018 bis 2023 ein jährliches Wachstum von 2,7% und erreicht damit ein erwartetes Jahresvolumen von rund 192 Mrd. EUR. Reife Bahnmärkte wurden als wichtige Treiber identifiziert, da in diesen Märkten die Akteure konsequent in die Instandhaltung und Erweiterung von Infrastruktur und Fahrzeugparks investieren, einschließlich der Aufrüstung und Modernisierung von Signalsystemen. Darüber hinaus wird erwartet, dass aufstrebende Bahnmärkte wie Afrika/Nahost oder Lateinamerika durch den weiteren Ausbau ihrer Infrastruktur und ihrer Bahnsysteme zum Marktwachstum beitragen werden. (Bild 1)

Laut einer aktuellen McKinsey-Studie [3] macht die weltweite Bahninfrastrukturtechnologie – ohne Gleise, Tunnel oder andere Low-Tech-Infrastrukturkomponenten – einen Markt mit einem Jahresvolumen von ca. 36 Mrd. EUR aus. Die Zugsteuerungs- und Signalanlagenindustrie wurde mit einem Volumen von 17 Mrd. EUR

„facing the simultaneous realities of decreasing public investment and steadily increasing demand.“ [2] The control and signalling market is currently highly fragmented and dominated by proprietary technology, tailor-made by a specific Original Equipment manufacturer (OEM) for a single national rail network. Due to insufficient product standardisation, cross-border traffic is often complicated and cost-intensive as trains have to be equipped with several systems and staff must be trained accordingly. Small country-specific product series also lead to high maintenance and spare part costs as rail operators are dependent on the original system manufacturer (vendor lock-in). The monopolistic rail tech market has high accessibility barriers and low competition, both of which drive up prices and hinder innovation.

1 Digital transformation as a chance for railway operators

The digital transformation of the rail industry comes with huge opportunities as well as significant challenges for rail operators. Digitalisation will allow the rail sector to improve its efficiency and competitiveness. Digital interlocking systems allow for a denser train sequence and thus optimum utilisation of the existing infrastructure. The large-scale introduction of standardised digital interlockings will significantly reduce maintenance costs. On the other hand, rail digitalisation requires significant financial investments. The resources for investing in new technology and modernisation are often lacking. This has led to systems operating beyond the end of their lifetime. The huge amount of outdated technology still in the field makes digitalisation a challenge. There are still many single-market proprietary solutions in use that make interoperability and consistent data exchange nearly impossible.

2 A snapshot of rail modernisation initiatives in key markets around the globe

The need for railway operators to modernise outdated or defective control technology can be seen around the globe. According to the UNIFE Global Rail study, the rail supply market has seen constant growth in recent years driven by considerable investments in services, infrastructure and rail control. Western Europe and Asia Pacific have particularly contributed to this positive development in the market. The study forecast an annual growth rate of 2.7% from 2018 until 2023, ultimately reaching an expected annual volume of approximately 192 billion EUR. Mature rail markets have been identified as key drivers as the operators in these markets consistently invest in the upkeep and expansion of their infrastructure and rolling stock bases, including upgrades to and the modernisation of the signalling systems. In addition, emerging rail markets, such as Africa / the Middle East or Latin America, are also forecast to contribute to market growth through continued development of their infrastructure and rail systems. (Fig. 1)

According to a recent McKinsey study, global rail infrastructure technology – excluding tracks, tunnels or other low-tech infrastructure components – accounted for an approximately 36 billion EUR market annually. The train control and signalling industry was identified as the largest market segment at 17 billion EUR p.a. and was expected to grow steadily by ~2.5% p.a. in real terms until 2025. According to the McKinsey report, market growth in this sector stems from selected regions that cyclically undergo dedicated rail infrastructure development or upgrade programs. The study predicts a shift in market growth from new

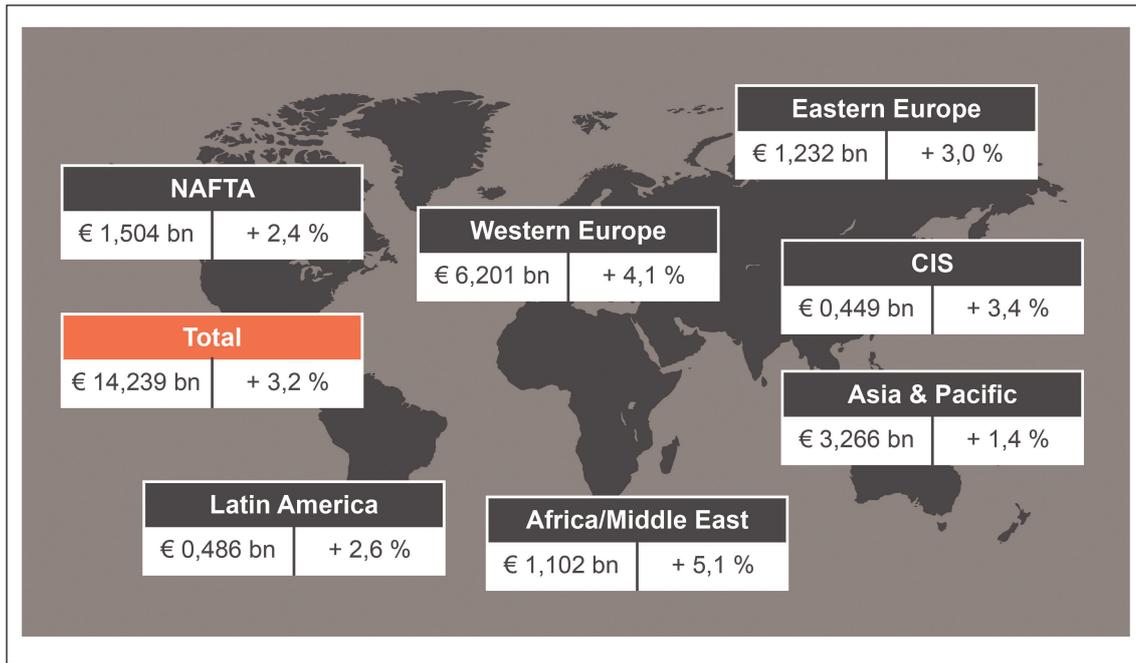


Bild 1: Erwartete Wachstumsraten (CAGR) für Bahnsteuerungssysteme von 2018 bis 2023

Fig. 1: The expected growth rates (CAGR) for rail control systems from 2018 to 2023

Quelle/Source: Roland Berger

jährlich als größtes Segment des Marktes ausgemacht und soll bis 2025 stetig ein Realwachstum von ~2,5% p.a. aufweisen. Laut dem McKinsey-Bericht ist das Marktwachstum in diesem Sektor auf ausgewählte Regionen zurückzuführen, die zyklisch spezielle Programme zum Ausbau oder zur Modernisierung der Schieneninfrastruktur durchführen. Bis 2025 prognostiziert die Studie eine Verlagerung des Marktwachstums von neuen Entwicklungsaktivitäten (vor allem in China und im Nahen Osten) hin zu fortschrittlichen Aufrüstungsprogrammen für die Signaltechnik – insbesondere ETCS in Europa und PTC (Positive Train Control) in Nordamerika. Darüber hinaus prognostiziert die Studie, dass Vertragsverlängerungen und das Wartungsgeschäft ein starkes Wachstumssegment (3-4% reales Wachstum bis 2025) zusätzlich zum Basiswachstum bilden werden, insbesondere in China und im Mittleren Osten.

3 COTS: Zukunftssicher für das digitale Zeitalter

Für Bahnbetreiber gehen der Modernisierungsbedarf und die Digitalisierung der Schiene Hand in Hand mit der Chance, zu einem selbstbestimmteren Umgang mit der Sicherheits- und Leittechnik ohne Herstellerbindung zu wechseln. Bahntechnische Systeme weisen sehr lange Lebenszyklen auf, die meist mehrere Jahrzehnte umfassen. Für Bahnbetreiber ist es daher entscheidend, dass die eingesetzten technischen Lösungen über einen sehr langen Zeitraum verfügbar sind. Für Systemintegratoren bedeutet dies, dass die von ihnen angebotenen Lösungen zukunftssicher und über einen langen Zeitraum hinweg verfügbar sein müssen. Die Hardware muss sich aber auch flexibel erweitern und modernisieren lassen. Durch die rasante Weiterentwicklung im Softwarebereich, die in den letzten zwei Jahrzehnten zu verzeichnen war, sind die Innovationszyklen deutlich kürzer geworden. Wenn Sicherheitstechnik eine langfristige Verfügbarkeit erfordert, sind Updates in kurzen Abständen notwendig. Das gilt insbesondere dann, wenn ein Schienennetz für die Digitalisierung fit gemacht werden muss. Bei proprietärer Technologie, wie sie derzeit im Einsatz ist, ist der Aufwand, die Lösungen auf dem neuesten Stand zu halten, aufgrund der geringen Produktionsmengen sehr hoch. Darüber hinaus besteht für den Anwender das Risiko, dass das

development activities (mainly in China and the Middle East) towards advanced signalling technology upgrade programs – particularly ETCS in Europe and PTC (Positive Train Control) in North America – up until 2025. In addition, the study forecasts that the renewal and maintenance business will be a strong growth segment (3-4% real growth until 2025) in addition to the base growth, particularly in China and the Middle East.

3 COTS: Future-proof for the digital era

For railway operators, the need for modernisation and rail digitisation goes hand in hand with the chance to switch to a more self-determined way of handling safety and control technology without any vendor lock-ins. Railway engineering systems have very long lifecycles, usually several decades. It is therefore crucial for railway operators that the technical solutions in use are available over a very long period. For system integrators, this means that the solutions they offer must be future-proof and available over a long period of time. However, the hardware must also be able to be flexibly expanded and modernised. As a result of the rapid advancement in software over the past two decades, innovation cycles have become significantly shorter. If safety technology requires long-term availability, updates are necessary within short intervals. This is especially true when a rail network has to be made ready for digitalisation. With proprietary technology as it is currently in use, the costs for keeping solutions up to date is high due to the small numbers of products produced. In addition, there is also a risk for users that the product may no longer be available for the next application (obsolescence). Whether it involves interoperability, migrating central functions to the cloud, autonomous trains or smart supply chains and maintenance models, digitalisation requires flexible safety solutions that are easily programmable, feature standard interfaces and are modular. Modern controllers must ensure that updates are simple and quick to perform. It should also be possible to map hardware functions using software. Backward compatibility would also be ideal so that it is possible to combine older systems with newer ones in order to ensure that they are future-proof. A modular design

Produkt für die nächste Anwendung nicht mehr zur Verfügung steht (Obsoleszenz).

Ob Interoperabilität, die Verlagerung zentraler Funktionen in die Cloud, autonome Züge oder smarte Lieferketten und Wartungsmodelle – die Digitalisierung erfordert flexible Sicherheitslösungen, die einfach programmierbar sind, über Standardschnittstellen verfügen und einen modularen Aufbau haben. Moderne Steuerungen müssen gewährleisten, dass Updates einfach und schnell durchgeführt werden können. Zusätzlich sollte es möglich sein, Hardwarefunktionen per Software abzubilden. Ideal wäre auch eine Abwärtskompatibilität, um ältere Systeme mit neueren zu kombinieren und damit zukunftssicher zu machen. Ein modularer Aufbau ermöglicht es dem Anwender, bestimmte Funktionsmodule auszutauschen oder komplett neue hinzuzufügen – ohne den laufenden Betrieb unterbrechen zu müssen.

4 COTS sind ein fester Bestandteil der Bahntechnik geworden

Eine zentrale Herausforderung in der Bahnindustrie besteht darin, dass der globale Markt für Sicherheits- und Leittechnik äußerst vielfältig ist. In den meisten Fällen entsteht aufgrund historisch gewachsener Strukturen ein regelrechter Flickenteppich aus heterogener Technik, die verschiedenen Jahrzehnten entstammt. Darüber hinaus sind die Eisenbahninfrastruktur und die jeweiligen Standards von Land zu Land unterschiedlich. Zum Beispiel gibt es weltweit viele verschiedene internationale Systeme für Betriebsvorschriften, Zugsteuerung, Signaltechnik oder Stromversorgung. Mit zertifizierten, standardisierten COTS-Controllern ist es möglich, eine einmal entwickelte Lösung relativ schnell an andere Marktanforderungen anzupassen.

Mit den COTS-Steuerungen HIMax und HIMatrix können Systemintegratoren und OEM – und letztlich auch Bahnbetreiber – sicher sein, dass Projekterweiterungen sich über Jahrzehnte hinweg problemlos realisieren lassen und Ersatzteile weltweit schnell zur Verfügung stehen. Die Steuerungen können auch zur einfachen Nachrüstung eingesetzt werden, z. B. in Anwendungen, bei denen parallel zur vorhandenen Relais- und elektronischen Verriegelung realisiert wird. COTS-Steuerungen bieten eine flexible Technologieplattform mit der Möglichkeit, bei einem Modernisierungsprojekt zunächst klein anzufangen und später zu skalieren.

So konnten beispielsweise die CENELEC SIL4-zertifizierten HIMA-Steuerungen (HIMax und HIMatrix) bereits in diversen Zulassungsprozessen in der Bahnindustrie ihre Stärken unter Beweis stellen, da sie als bereits zugelassene und vorzertifizierte Komponenten gelten. Die Programmiersysteme dieser Steuerungen basieren auf weltweit verfügbaren Standardprogrammiersprachen nach IEC 61131 und bieten Schnittstellen zu allen wichtigen Technologien wie Ethernet, RS485 oder RS232. Die Kommunikation erfolgt über weit verbreitete Protokolle wie CAN-Bus (über COM-User-Task implementiert) oder Profinet. Mit Safe Ethernet steht aber auch ein leistungsstarkes HIMA-internes Protokoll zur Verfügung, über das die Remote-I/O-Module der modularen Steuerungen betrieben werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass COTS-Komponenten, die auf Basis globaler Standards entwickelt wurden, einfacher zu integrieren und auch kostengünstiger als lösungsspezifische Systeme sind, die in der Vergangenheit den Bahnmarkt dominiert haben. Im Vergleich zu proprietären Systemen bieten COTS-Systeme eine Reihe von klaren Vorteilen:

- Durch die Standardisierung und die weite Verbreitung industrieller Programmiersprachen nach IEC 61131 sind COTS-Steuerungen deutlich einfacher zu bedienen und zu warten.

makes it possible for users to exchange certain functional modules or add completely new ones – even during operations.

4 COTS have become an integral part of railway technology

The fact that the global market for safety and control technology is extremely diverse constitutes a central challenge for the railway industry. In most cases, a veritable patchwork of heterogeneous technology from various decades has emerged due to the historically grown structures. In addition, railway infrastructure and standards differ from country to country. For example, there are many different international systems for operating regulations, train control, signalling or power supplies worldwide. Certified standardised COTS controllers make it possible to adapt a solution relatively quickly once it has been developed in accordance with other market requirements.

HIMax and HIMatrix COTS controllers mean that system integrators and OEM – and in the end railway operators – can be sure that project extensions can be easily implemented over decades and spare parts can be quickly supplied worldwide. They can also be used for easy retrofits, e.g. in applications where an electronic interlocking has been implemented in parallel with existing relay technology. COTS controllers offer a flexible technology platform with the option of starting small in a modernisation project and scaling up later.

For an example, CENELEC SIL4-certified HIMA controllers (HIMax and HIMatrix) have already been able to demonstrate their strengths in diverse approval processes in the railway industry, because they are considered to be pre-approved and pre-certified components. The controllers' programming systems are based on globally available standard programming languages in accordance with IEC 61131 and provide interfaces to all important technologies such as the Ethernet, RS485 or RS232. Communication takes place via broadly accessible protocols such as CAN bus (implemented via COM-User-Task) or Profinet. With Safe Ethernet, however, a high-performance HIMA internal protocol is also available via which the modular controllers' remote I/O modules are operated.

All in all, COTS components developed on the basis of global standards are easier to integrate and also more cost-effective than the solution-specific systems which dominated the railway market in the past. COTS systems offer a number of clear advantages in comparison with proprietary systems:

- the standardisation and widespread use of the commonly used industrial programming languages in accordance with IEC 61131 make the COTS controllers significantly easier to operate and maintain.
- COTS systems can be obtained at considerably lower prices, because of their standard components and high production figures.
- commissioning and maintenance are simpler and they give end customers greater freedom when selecting a supplier. This makes railway operators completely free of vendor lock-in.
- another advantage of COTS systems is that they are easier to program and competitive with their short delivery lead times and high availability.
- the long life cycle of up to 30 years is another advantage of COTS technology and is a guarantee for investment security.

5 Summary

All in all, the pro-COTS arguments match very precisely the requirements specified in the McKinsey study. The technology is

- COTS-Systeme sind aufgrund ihrer Standardkomponenten und hoher Produktionszahlen zu deutlich günstigeren Preisen erhältlich.
- Inbetriebnahme und Wartung sind einfacher, wodurch der Endkunde mehr Freiheit bei der Auswahl des Lieferanten hat. Hierdurch wird für Bahnbetreiber der bisherige Vendor Lock-in der Vergangenheit angehören.
- Ein weiterer Vorteil von COTS-Systemen besteht darin, dass sie einfacher zu programmieren sind und durch kurze Lieferzeiten und hohe Verfügbarkeit überzeugen.
- Der lange Lebenszyklus von bis zu 30 Jahren ist ein weiterer Vorteil der COTS-Technologie und ein Garant für Investitionssicherheit.

5 Zusammenfassung

Alles in allem entsprechen die Pro-COTS-Argumente sehr genau den in der McKinsey-Studie formulierten Anforderungen. Die Technologie ist bereits heute verfügbar, sie basiert auf internationalen Standards und reduziert dauerhaft Betriebs- und Lebenszykluskosten. In zahlreichen Bahnprojekten haben COTS-Lösungen nicht nur bewiesen, dass sie dem Anwender einen deutlichen Mehrwert bieten, sondern sie bilden auch die Basis für innovative Geschäftsmodelle. Die Trends zeigen deutlich, dass der Anteil von COTS-Steuerungen am Weltmarkt für Sicherheitselektronik in der Bahnindustrie bereits stark ansteigt. Wenn Bahnbetreiber möglichst selbstbestimmt entscheiden wollen, wie der Modernisierungstau aufzulösen ist, bilden COTS beim Austausch oder bei der Aufrüstung von Sicherheits- und Steuerungstechnik die beste Wahl. ■

already available today, it is based on international standards and permanently reduces running and lifecycle costs. In numerous railway projects, COTS solutions have not only proved that they give the user a clear plus in terms of value, but they also form the basis for innovative business models. The trends clearly show that the share of COTS controllers in the world market for safety electronics in the railway industry is already set to rise steeply. If railway operators want the best possible self-determined way of choosing how they want to reduce the modernisation backlog, COTS are the best choice when replacing or scaling up safety and control technology. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW, McKinsey & Company, Dezember 2018
- [2] WSP, Globale Bahn- und Transit-Trends für 2018, www.wsp.com/en-CN/news/2018/global-trends-2018, Januar 2018, aufgerufen am 27. Mai 2020
- [3] Deutsche Bahn, Broschüre Digitale Schiene Deutschland, Berlin 2018
- [4] Roland Berger (für UNIFE), World Rail Market Study (7. Ausgabe) - Prognose 2018 bis 2023, Hamburg 2017
- [5] McKinsey & Company, Arnt-Philipp Hein und Anselm Ott, Signale auf Wachstum eingestellt - wie OEMs in einer digitalisierten Bahninfrastruktur erfolgreich sein können, September 2018, ähnlich: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/europe/digitizing-europes-railways-a-call-to-action>

AUTOREN | AUTHORS

Manfred Gilliam

Business Development Manager Rail DACH
HIMA Paul Hildebrandt GmbH
Anschrift /Address: Albert-Bassermann-Straße 28, D-68782 Bruehl
E-Mail: m.gilliam@hima.com

Sabine Konradi

Marketing Manager Rail Segment
HIMA Paul Hildebrandt GmbH
Anschrift /Address: Albert-Bassermann-Straße 28, D-68782 Bruehl
E-Mail: s.konradi@hima.com