

# Die Leit- und Sicherungstechnik im Spiegel der industriellen Revolutionen

Wie sich die allgemeine Technikentwicklung auf die Generationen der Leit- und Sicherungstechnik auswirkte.

DARIA BACHURINA | ULRICH MASCHEK

**Industrielle Revolutionen sind durch markante technische Erfindungen gekennzeichnet, die radikale Veränderungen, auch im gesellschaftlichen Bereich, mit sich bringen. Die Menschheit hat bisher drei industrielle Revolutionen durchlebt; die vierte vollzieht sich in der Gegenwart. Wir erleben heute einen neuerlichen Technologiewandel. Im Bereich der Elektronik, Computertechnik und Datenkommunikation entstehen völlig neue Lösungen. Inzwischen sind diese auch in den leit- und sicherungstechnischen Systemen angekommen und funktionieren zweifelsohne gut [1].**

**In diesem Beitrag werden die industriellen Revolutionen charakterisiert und es wird auf deren Folgen – Automatisierung und Digitalisierung – eingegangen. Wie diese die technischen Lösungen der Leit- und Sicherungstechnik vorangebracht haben, wird am Beispiel Deutschlands exemplarisch aufgezeigt.**

## Erste industrielle Revolution Bedeutung

Die erste industrielle Revolution hatte ihren Ursprung in England; später breitete sie sich auf das europäische Festland aus. Die Epoche dauerte von der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts bis in das späte 19. Jahrhundert [2]. Als wichtigste Erfindung gilt die Dampfmaschine, zunächst als stationärer Antrieb und später auch mobil in Form der Dampflokomotive. Diese bildete die Grundlage für die große Eisenbahn-Ära in der ganzen Welt, nachdem die erste öffentliche Eisenbahn am 27. Dezember 1825 zwischen Stockton und Darlington ihren Betrieb aufgenommen hatte. Mit der Steigerung des Verkehrsaufkommens wurde es notwendig, den Bahnbetrieb zu steuern und zu sichern, damit begann die Zeit der Sicherungstechnik für Bahnen.

## Markante Entwicklungen der Leit- und Sicherungstechnik

Als unabdingbares Hilfsmittel für die Regelung und Steuerung von Fahrzeugbewegungen am Anfang des 19. Jahrhunderts dienten Nachrichtentechnik und Signalwesen. Zunächst waren

die Möglichkeiten, die Informationen auszutauschen, sehr beschränkt und bestanden aus einfachen optischen und akustischen Signalmitteln. Mit der Entwicklung der optischen Telegraphen wurden auf deutschem Gebiet 1842 die ersten Flügelsignale bei der Leipzig – Dresdner Eisenbahn eingeführt [3].

Hörbare und sichtbare Zeichen sind auch heute die Grundlage der Informationsübertragung zum Menschen. Jedoch übernahm der Mensch in jenen Zeiten auch weiterhin die Rolle des Reglers, Steuerers und Überwachers von Prozessen. Im Gegensatz zur Automatisierung wird von Mechanisierung gesprochen, wenn ursprünglich manuell durchgeführte Arbeiten zunehmend durch technische Hilfsmittel unterstützt werden.

Der nächste logische Schritt zu mehr Sicherheit war die Entwicklung gegenseitiger Abhängigkeiten zwischen Weichen- und Signalstellungen, der sogenannten Signalabhängigkeit. Dem englischen Eisenbahngestellten Saxby ist es im Jahr 1856 gelungen, das erste Stellwerk zu konstruieren, das genau diese Kernaufgabe erfüllen konnte. Ein mechanisches Stellwerk, wie es heute noch im Einsatz ist, zeigt Abb. 1.

Eine weitere bedeutende Erfindung dieser Zeit war die Morsetelegraphie, die als Grundlage für die Streckenblockeinrichtungen diente. Der Gleisstromkreis, der im Jahr 1872 durch den Amerikaner William Robinson entwickelt wurde, fand in Deutschland zunächst wenig Beachtung.

## Zweite industrielle Revolution Bedeutung

Auch wenn es wissenschaftlich umstritten ist, ob man die erste und die zweite industrielle Revolution deutlich voneinander trennen kann, soll hier die Entwicklung der Industriewirtschaft seit Ende des 19. Jahrhunderts als neue Etappe genannt werden. Jene zweite industrielle Revolution ist durch neue Erfindungen gekennzeichnet, maßgeblich die verbreitete Nutzung der Elektrizität. [2] Dies leitete den Übergang von der Mechanisierung zur Automatisierung ein.

## Markante Entwicklungen der Leit- und Sicherungstechnik

Das Phänomen des Elektromagnetismus wurde in Form des Elektromotors nutzbar gemacht, was die Entwicklung von elektrischen Weichen- und Signalantrieben ermöglichte.

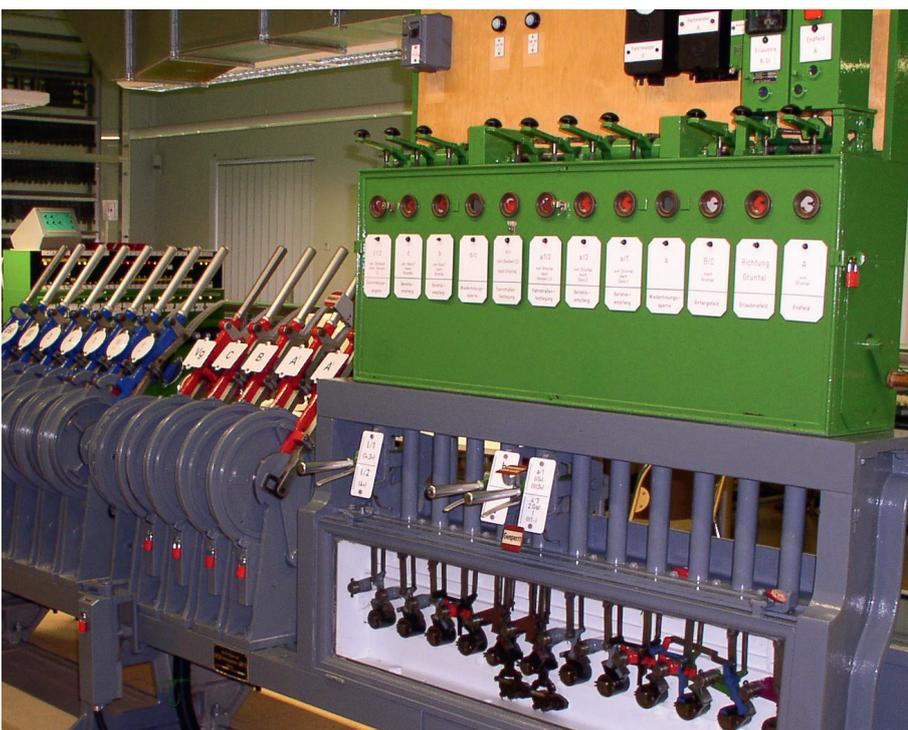


Abb. 1: Mechanisches Stellwerk

Foto: U. Maschek



**Abb. 2:** Magnetschalter (Stützrelais) aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

Foto: U. Maschek

te. Die zweite bedeutende Entwicklung für die Sicherungstechnik war das Signalrelais („Magnetschalter“, Abb. 2) zur Verarbeitung sicherheitsrelevanter Informationen. Mit der Relaisstechnik konnten nicht nur Stellwerke zu großen Teilen automatisiert werden, es wurde auch vollautomatische Sicherungstechnik für Streckenblock und Bahnübergangssicherung entwickelt [4].

Obwohl mit dem Elektromotor und dem Signalrelais alle Voraussetzungen für „vollelektrische Stellwerke“ bestanden, verzichtete man zunächst nicht auf das mechanische Verschlussregister, was zur hybriden Bauform der elektromechanischen Stellwerke führte. Erst ab Mitte des 20. Jahrhunderts wurden die „vollelektrischen Stellwerke“ in Form von Relaisstellwerken realisiert (Abb. 3).

### Dritte industrielle Revolution Bedeutung

In den 1970er Jahren begann die dritte industrielle Revolution. Diese zeichnet sich durch den technischen Fortschritt auf drei Gebieten aus:

- atomare Energie,
- Automatisierung der Produktion,
- Maschinen zur elektronischen Datenverarbeitung.

Bestrebungen, die Technik zu automatisieren, gab es viele. Die Automatisierung von Produktionsprozessen wurde vorangetrieben. Der Einsatz von Elektronik, Computern und darauf beruhenden Informationstechnologien ermöglichte es, einen wesentlichen Teil der Handarbeit sowie einen Teil der Kopfarbeit durch Maschinen zu übernehmen [5]. Software und digitale Information spielen eine entscheidende Rolle. Als wegweisende Entwicklung gilt der Mikrochip (Integrierter Schaltkreis).



**Abb. 3:** Relaisgestelle eines Relaisstellwerks

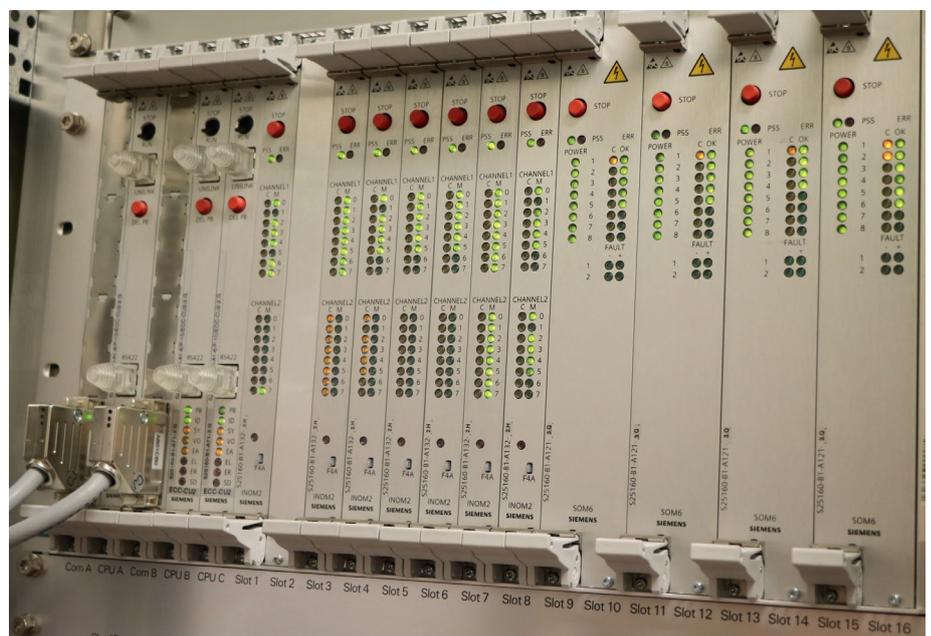
Foto: U. Maschek

Die Nutzung elektronischer Systeme setzte relativ spät in der Sicherungstechnik ein. Das lag an den hohen Sicherheitsanforderungen, deren Einhaltung zuerst nachgewiesen werden musste [4]. Schließlich führte die dritte industrielle Revolution zur Anwendung von Mikrorechnern in der Leit- und Sicherungstechnik.

### Markante Entwicklungen der Leit- und Sicherungstechnik

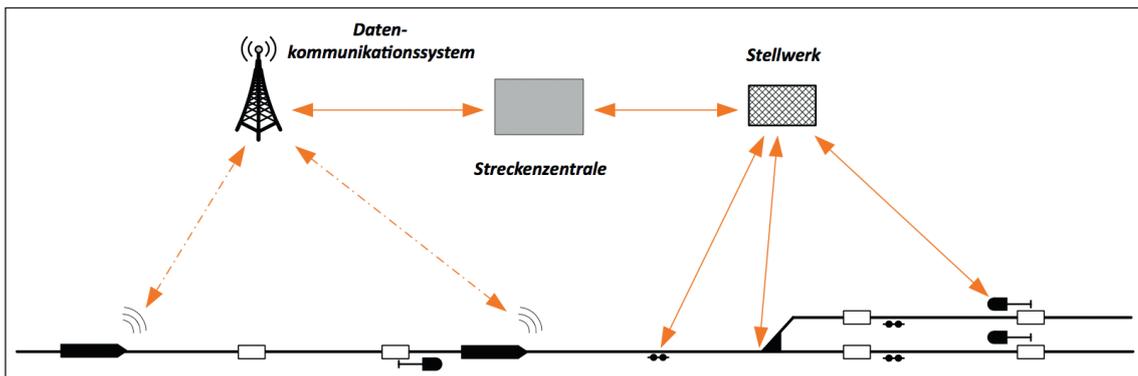
Als repräsentatives System für diese Zeit gilt das auf digitaler Rechentechnik basierende elektronische Stellwerk (ESTW, Abb. 4). Bei dessen Entwicklung, etwa ab 1980, orientierte man sich an den Funktionalitäten der hochentwickelten Relaisstellwerke und setzte deren Funktionalität in Software um.

Zusammen mit dem ESTW erreichte die Leit- und Sicherungstechnik ihre höchste Automatisierungsstufe. Die Leittechnik wurde u.a. durch die Funktion der Zuglenkung ergänzt. Weiterhin finden Funkenwendungen ihren Platz in der Leit- und Sicherungstechnik, zum Beispiel im Bereich der Zugbeeinflussungssysteme in Form des European Train Control System (ETCS). Bei diesem ist ab ETCS Level 2 eine ständige, auf Mobilfunk basierende Datenkommunikation zwischen Strecke und Fahrzeug nötig. Im Stadtbahnbereich werden ähnliche Systeme unter dem Namen CBTC (Communication based train control) eingesetzt. Das CBTC-System kann zum Zweck der Datenübertragung unter anderem WLAN-Netzwerke nutzen. Eine prinzipielle Darstel-



**Abb. 4:** Rechner eines Elektronischen Stellwerks

Foto: U. Maschek



**Abb. 5:** Grundsätzliche Anwendung von ETCS bzw. CBTC

Grafik: D. Bachurina

lung der Funktionsweise der beiden Systeme wird in Abb. 5 gezeigt.

Langfristig ist ein weitgehender Verzicht sowohl auf ortsfeste Signale als auch auf die strecken- seitige Gleisfreimeldung zu erwarten. Die Fahrzeuge können sich mittels Balisen im Gleis selbst orten und tauschen mit der Streckenzentrale die Standortinformationen und Fahrbefehle per Datenfunk aus. Derartige Lösungen sind allerdings nur bei eigenständiger Zugintegritätsprüfung (Überwachung der Zugvollständigkeit) aller verkehrenden Fahrzeuge möglich.

Verfolgt man den Gedanken weiter, stellt sich die Frage, welche Rolle ein Stellwerk in Zukunft spielen wird, da einige Funktionen wie z. B. der Folgefahrerschutz auf das Zugbeeinflussungssystem übergehen. Die Sicherung beweglicher Fahrwegelemente bleibt allerdings eine infrastrukturelle Aufgabe, die bisher weiterhin zentral realisiert wird. Ein Versuch, diese Aufgabe zu dezentralisieren wurde mit dem FunkFahrBetrieb Ende der 1990er Jahre unternommen. Hier war eine direkte Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und den beweglichen Fahrwegelementen vorgesehen.

### Vierte industrielle Revolution Bedeutung

Nach Mechanisierung, Elektrifizierung und Automatisierung läutet die Durchdringung von Kommunikationsnetzen wie dem Internet in allen Bereichen, sowohl drahtgebunden als auch über Funk, die vierte industrielle Revolution ein. Die Vernetzung, basierend auf neuen technischen Architekturen, sowie die Digitalisierung von Zuständen und deren Steuerung (Zustandsübergänge) mithilfe von Algorithmen sind die Schwerpunkte der Revolution oder, wie diese Periode auch genannt wird, der zweiten Stufe der Digitalisierung.

In diesem Zusammenhang haben Bundesregierung und Industrie den Begriff „Industrie 4.0“ geprägt. Darunter wird die Verknüpfung der industriellen Produktion „mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik“ verstanden [6]. Die Aspekte von „Industrie 4.0“ haben aber keine Einigkeit in der Fach- und Forschungswelt gefunden. Kritische Meinungen bezweifeln, dass man eine Fabrik vollständig mit Algorithmen steuern könne. Am Begriff „Indus-

trie 4.0“ wird bemängelt, dass das Thema dadurch unzulässigerweise auf die Fabrik reduziert sei. Industrie 4.0 darf kein technologischer Selbstzweck sein, sondern muss sich zu etwas entwickeln, das vom Menschen und vom Markt her gedacht wird. Die nächste Revolution verdiene erst dann diese Bezeichnung, wenn sie ihren Nutzen für den Menschen nachweist. [7]

Andererseits ist es unbestritten, dass die Vernetzung des Digitalen tiefgreifende Änderungen in den bestehenden Systemen zur Folge haben wird und schon heute hat.

### Markante Entwicklungen der Leit- und Sicherungstechnik

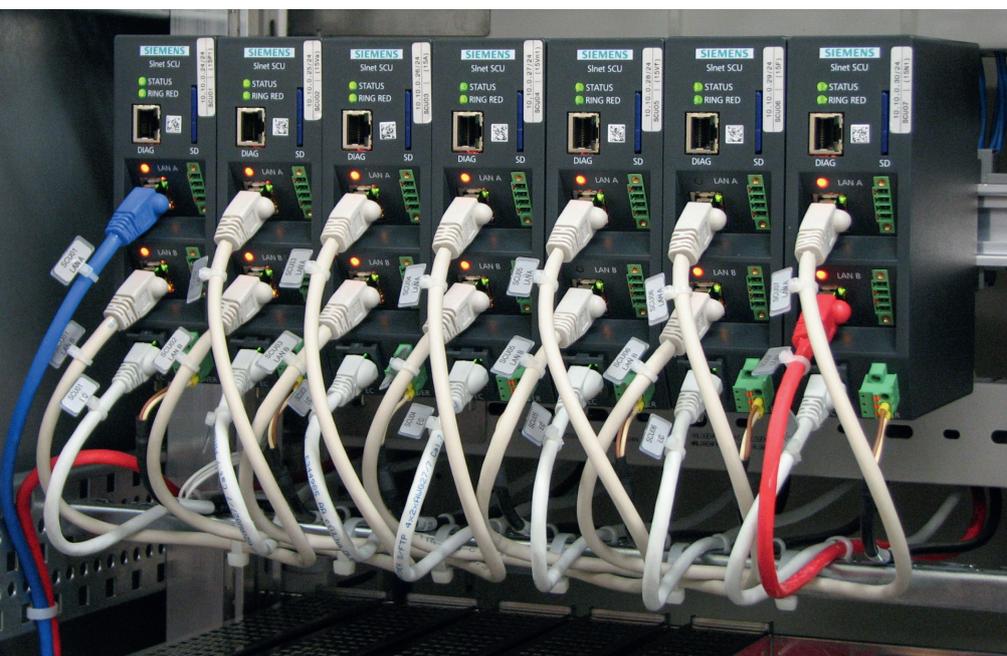
Im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik sind Automatisierung und Digitalisierung bereits weit vorangeschritten. Viele Steuerungs- und Regelungsprozesse in Bahnsystemen laufen heute weitgehend automatisch ab [8]. Die allgemeine Technologieentwicklung im Bereich sowohl bei der Datenübertragung als auch bei der Vernetzung und Verteilung technischer Intelligenz hat in den Kernzonen der Sicherungstechnik bisher ansatzweise Anwendung gefunden. Daten können überall erfasst werden und über Luftschnittstellen übertragen werden, wie dies bereits bei CBTC oder ETCS geschieht.

Im Bereich der infrastrukturellen Steuerung dominieren jedoch nach wie vor parallele Schnittstellen und proprietäre Bussysteme. Das Neu-Pro-Stellwerk mit seriellen und auf IP-Technik basierenden Schnittstellen ebnet hier den Weg in die neue Zeit. Die Signalbauindustrie arbeitet schon seit mehreren Jahren an der IP-Übertragung im ESTW (Abb. 6). Diese Änderungen und neue Entwicklungen werden, wenn nicht zur Revolution, so doch mindestens zu einer neuen Generation der Sicherungstechnik führen.

### Sind Stellwerke erst seit heute digital?

Gelegentlich wird für das Stellwerk der Zukunft der Begriff „Digitales Stellwerk (DSTW)“ gebraucht. Doch ist das heutige ESTW etwa nicht digital? Was bedeutet eigentlich digital?

Im Gegensatz zum analogen Signal bedient sich ein digitales Signal eines abgestuften und begrenzten Wertevorrats (wertdiskret). Ein Spezialfall des digitalen Signals ist das binäre



**Abb. 6:** Pilotanwendung von IP-Schnittstellen im ESTW Annaberg-Buchholz Süd Foto: U. Maschek

	1. industrielle Revolution	2. industrielle Revolution	3. industrielle Revolution	4. industrielle Revolution
<b>Beginn</b>	Ende 18. Jh.	Ende 19. Jh.	Beginn 70er Jahre 20. Jh.	Heute
<b>Kennzeichen</b>	Mechanisierung	Elektrifizierung, erste Automatisierung	Weitgehende Automatisierung, Anfang der Digitalisierung	Vernetzung, weitgehende Digitalisierung
<b>Beispiel</b>	Dampfmaschine	Elektromotor	analoge und digitale Elektronik, Mikrorechner	Internet
<b>Beispiel für die Sicherungstechnik</b>	Blockfeld	Elektrische Antriebe, Signalrelais	Achszählrechner	IP-basierte Schnittstellen
<b>Umsetzung in der Stellwerkstechnik</b>	Mechanisches Stellwerk	Elektromech. Stellwerk, Relaisstellwerk	ESTW	ESTW mit IP-Schnittstellen

Tab. 1: Industrielle Revolution vs. Generationen der Stellwerkstechnik

Signal mit zwei Zuständen, das im Folgenden nur noch gemeint ist.

Technisch repräsentieren sich die Zustände in der Elektronik durch den Low- und den Highpegel, „0“ und „1“. In der Relaisstechnik sind es die Zustände „Relais abgefallen“ und „Relais angezogen“, damit sind Relaisschaltungen im eigentlichen Sinne auch digitale Systeme. Selbst im mechanischen Stellwerk werden nur die Endlagen der Hebel ausgewertet!

Die Reduktion eines Signals auf zwei Werte ist natürlich eine rein technische Betrachtung, die aber für die Praxis völlig ausreichend ist. Physikalisch betrachtet, kann der Übergang zwischen zwei Zuständen nicht sprunghaft erfolgen, sondern immer in einer Zeit von  $t > 0$ . Im Bereich der Elektronik ist diese Zeit so kurz, dass sie nur Piko- oder Femtosekunden beträgt. In der Relaisstechnik werden Anzug und Abfall eines Relais in Millisekunden gemessen, der Zustandsübergang im Bereich der Mechanik eher in Sekunden.

In jedem Fall werden in der Stellwerkstechnik immer nur binäre und damit digitale Signale verarbeitet. Analoge Messwerte, wie z.B. die Spannung am Gleisstromkreis, werden umgehend in Binärwerte gewandelt, z.B. durch das Gleisrelais. Auch die Lage der Prüferstange an der Weiche wird am Prüferkontakt in einen Binärwert umgesetzt. Die Informationsverarbeitung im Stellwerk war damit schon immer digital. Insofern ist die Bezeichnung „Digitales Stellwerk“ ein Euphemismus, der heutige Schlagworte aufgreift, dem Wandel in der Informationsverarbeitung im Stellwerk jedoch nicht gerecht wird. Zukünftige Stellwerke sind natürlich auch elektronische Stellwerke, nur dass deren Schnittstellen jetzt seriell sind und auf IP-Technik basieren, sowie zur Elementansteuerung eine Trennung von Energie- und Informationsübertragung erfolgt. Eine bessere Bezeichnung wäre z.B. „IP-Stellwerk“ als Unterkategorie des ESTW.

Warum sind wir nun geneigt, moderne Techniken als „digital“ zu bezeichnen? Der Grund ist, dass die Digitalisierung tatsächlich in alle Bereiche unseres Lebens vordringt und analoge Prozesse ablöst. Diese Umwälzungen sind so gravierend, dass die Bezeichnung „Revolution“ nicht unangebracht ist – und zu Recht von der vierten industriellen Revolution gesprochen wird.

### Fazit

Die Tab. 1 fasst das oben Beschriebene zusammen. Jede Erfindung treibt die Entwicklung eines Systems voran. Waren die Zeiträume zwischen den Erfindungen früher länger, so erfolgt der Technologiewandel heute in sehr viel kürzerer Zeit. Erreicht ein System seine höchste Entwicklungsstufe, findet der Übergang zu einem neuen System statt. Dieser Übergang bedeutet allerdings bei weitem nicht immer das Ende der Anwendung des Systems der vorherigen Generation. Die Systeme existieren weiter nebeneinander.

Bei der Entwicklung von Systemen streben Ingenieure danach, deren Effektivität zu erhöhen. Dabei besteht das Ziel darin, ein ideales System zu schaffen. An das ideale System werden folgende Anforderungen gestellt [9]:

- Die Nachteile des Originalsystems (vorherige Entwicklung) müssen beseitigt werden.
- Die positiven Eigenschaften des Originalsystems müssen erhalten bleiben.
- Das System soll dabei nicht komplizierter werden.
- Es sollen keine zusätzlichen Nachteile eingeführt werden.

Das ideale System stellt eine Lösung dar, bei der die nützliche Hauptfunktion mit dem geringsten Aufwand erreicht wird. Es sollen keine teureren oder schwer zu beschaffenden Ressourcen verwendet werden.

Wenn das mechanische Stellwerk als Originalsystem betrachtet wird, so war es immer das Ziel, die Schwachstellen, wie z.B. die Stellentfernung oder eine personalintensive Bedienung zu beseitigen. Wenn auch die Nachteile der alten Systeme beseitigt sind, lassen sich bei neuen Systemen neue Mängel feststellen, wie zum Beispiel beim ESTW die geringere Lebensdauer und die schlechtere Umbaufreundlichkeit gegenüber den bisherigen Stellwerksgenerationen; diese Nachteile sollen bei der nächsten Entwicklung behoben werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der Leit- und Sicherungstechnik schon immer die jeweils vorhandenen Möglichkeiten der Automatisierung genutzt wurden, allerdings unter dem erschwerenden aber notwendigen Aspekt der hohen Sicherheitsanforderungen. Auch in Zukunft wird das so sein und mit dem NeuPro-Stellwerk sind derartige Entwicklungen für die Zukunft absehbar. ■

### QUELLEN

- [1] Trinckauf, J.: Wir gestalten den Technologiewandel! In: SIGNAL+DRAHT, Heft 1+2/2015, S. 3
- [2] Brandt, L.: Die zweite industrielle Revolution, Vorstand der SPD, Bonn, Druckhaus Deutz GmbH
- [3] Pottgißer, H.: Sicher auf den Schienen: Fragen zur Sicherheitsstrategie der Eisenbahn von 1825 bis heute, Basel, Birkhäuser Verlag, 1988
- [4] Koch, Th.: Ein Verfahren zum Ausschluß gefährlicher Systemzustände in rechnergesteuerten Eisenbahnsicherungsanlagen, 1997
- [5] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0
- [6] Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie\\_4.0](https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0) abgerufen am 04.09.2016
- [7] Syska, A.; Lièvre, Ph.: Illusion 4.0 - Deutschlands naiver Traum von der smarten Fabrik, Herrieden, 2016
- [8] Trinckauf, J.: Autonomes Fahren. In: Bahn Manager – Das Wirtschaftsmagazin für den Schienenverkehr, S. 77-79, 2016
- [9] Orloff, M. A.: Grundlagen der klassischen TRIZ – Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005



#### Dipl.-Ing. Daria Bachurina

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
CERSS Kompetenzzentrum  
Bahnsicherungstechnik, Dresden  
daria.bachurina@cerss.com



#### Dr.-Ing. habil. Ulrich Maschek

Wissenschaftlicher Oberassistent an der  
Professur für Verkehrssicherungstechnik,  
Fakultät Verkehrswissenschaften  
„Friedrich List“, TU Dresden  
u.maschek@tu-dresden.de