

Elektronische Stellwerke

- Systemarchitektur & Zuverlässigkeit

Chris Weibel
Lehrstuhl für Technische Informatik
Universität Passau
Passau, Deutschland
weibel01@ads.uni-passau.de

Felix Klement
Lehrstuhl für IT-Sicherheit
Universität Passau
Passau, Deutschland
fk@sec.uni-passau.de

Alexander Wittmann
Lehrstuhl für Verteilte Informationssysteme
Universität Passau
Passau, Deutschland
wittma27@ads.uni-passau.de

Abstract — Für Bahnbetreiber ist die Entwicklung elektronischer Stellwerke oft ein sehr aufwändiges Unterfangen. Um für die Zukunft des Schienenverkehrs sowie möglichem Wachstum in der Branche gewappnet zu sein, müssen die System-Komponenten günstiger werden. Auch die Methodiken für den Betrieb sowie die Wartung müssen besser und effizienter gestaltet werden, ohne Einbußen im Bereich der Sicherheit sowie Ausfallsicherheit zu haben. Daher ist es wichtig ein genaues Bild von Möglichkeiten zu erlangen, um die aufgezeigten Problematiken zu beseitigen. In diesem Papier beleuchten wir deshalb die Geschichte der ersten elektronischen Stellwerke, erläutern den Aufbau sowie die Funktionsweise der Systemarchitektur und beschreiben wie Redundanz in elektronischen Stellwerken umgesetzt wird. Zum Schluss beleuchten wir noch die Zukunft der Stellwerke im Allgemeinen.

Stichwörter — Elektronische Stellwerke, Architektur, Zuverlässigkeit

I. EINLEITUNG

Die Eisenbahn als Transportmittel hat sich bereits Anfang des 19. Jahrhunderts etabliert. Ganz zu Beginn wurden Pferde als Antriebsmittel genutzt, doch dies änderte sich rapide, als 1804 Richard Trevithick die erste Dampflokomotive in Betrieb nahm. Im Laufe der Zeit haben sich die Zugmaschinen und die zugehörige Anlagen immer mehr weiterentwickelt als auch das Schienennetz mehr und mehr ausgebaut wurde. Die Gesamtlänge für das weltweite Schienennetz betrug im Jahr 2013 ungefähr 1.148.186 Kilometer [1]. Um den immensen Güter- und Personenverkehr tragen zu können und um konkurrenzfähig zu bleiben, muss die Bahn immer bessere, ausgeklügeltere und effizientere Anlagen entwickeln. Damit es möglich ist mit mehreren Zügen auf dem gleichen Gleis zu fahren, muss ein Zug wissen, ob der kommende Abschnitt der Strecke belegt ist, sowie die Möglichkeit haben das Gleis zu wechseln. Die ersten mechanischen Stellwerke für die Fahrkontrolle wurden noch per Hand bedient. Mit dem fortschreitenden Ausbau von elektrischen Leitungen Anfang des 19. Jahrhunderts war es nun möglich die Stellwerke mit Hilfe von Motoren

zu bewegen und es sind die ersten elektromechanischen Stellwerke entstanden. In den 1930er wiederum wurden dann die ersten Relaisstellwerke eingeführt. Diese hatten den Vorteil dass sämtliche Abhängigkeiten mit Relaischaltungen realisiert werden konnten. Durch die voranschreitende Modernisierung wurden in den 1980er Jahren die ersten Computer gesteuerten Stellwerke, elektronische Stellwerke (ESTW), erforscht.

Im Folgenden werden die relevantesten ersten elektronischen Stellwerke dargestellt und auf die Systemarchitektur sowie die Zuverlässigkeit dieser eingegangen. Danach wird im letzten Kapitel ein kurzer Ausblick auf neuartige Stellwerke gegeben.

II. DIE ERSTEN ELEKTRONISCHEN STELLWERKE

In den 1980er Jahren wurden europaweit viele unterschiedliche ESTW realisiert und im Laufe der Jahrzehnte in das Schienennetz integriert. Im Folgenden sind die wichtigsten ESTW, welche in dieser Zeit im deutschsprachigen Raum (Deutschland/Österreich) entstanden sind, aufgeführt.

A. Simis-C/ESTW EI S

Bei Simis-C handelt es sich um das erste elektronische Stellwerk von Siemens, welches für die Deutsche Bahn AG entwickelt wurde. Dieses Stellwerk ist auch unter den Namen *EI S* (Elektronisches Stellwerk der Bauform Siemens) bekannt, wurde aber intern mit *ESTW SIMIS-C* bezeichnet. Hierbei steht *Simis* für ein sicheres Mikrocomputersystem von Siemens.

Diese Stellwerke wurden als erstes im Jahr 1985 auf der Strecke München - Garmisch-Partenkirchen umfassend erprobt. Hierbei wurde der Betrieb ein Jahr lang gleichzeitig mit Signaltechnik sowie mit Simis-C betrieben. Nach dem Ausmerzen anfänglicher Mängel, sowie dem nötigen Sicherheitsnachweis, wurde Simis-C im Jahr 1988 in den Regelbetrieb aufgenommen. Diese Art von Stellwerk wurde nicht nur innerhalb von Deutschland eingesetzt, sondern

auch in Österreich, der Schweiz, den Niederlanden sowie in Finnland.

Simis-C Stellwerke werden mit einem von Siemens selbst entwickelten Rechner betrieben. Hierbei gibt es die 2v2 und 2v3 Variante. Der Datenaustausch erfolgte mit normierten Telegrammen. Bei Simis-C wurde auf die Sichtgerät-Doppelsteuerung (SIDOS) verzichtet und wird stattdessen von einem Lupenbildmonitor vom Bedienplatzrechner aus gesteuert. Um die eingegebenen Befehle zu bestätigen, muss der Bedienende die Kommandofreigabe-Taste bestätigen. [2]

B. ESTW L90

Hierbei handelt es sich um ein elektronisches Stellwerk von ALCATEL SEL, welches auf der Spezifikationen der Deutschen Bahn AG beruht. Dieses Stellwerk wurde zeitgleich zu Simis-C entwickelt. Die ersten Tests erfolgten im Jahr 1989 und im Jahr 1992 wurde es auf der Neubaustrecke Madrid - Sevilla in Spanien zum ersten mal eingesetzt. Auch heutzutage werden diese Stellwerke in Deutschland, Spanien, Frankreich, Rumänien und weiteren Ländern noch immer eingesetzt.

Auch dieses Stellwerk läuft auf dem Simis-Prinzip, da Siemens und ALCATEL SEL diese gemeinsam in Deutschland entwickelt haben. Im Gegensatz zu Simis-C, wurde in diesem Stellwerk eine abgewandelte 2v3 Variante verbaut. Dabei wechseln sich zwei Rechner zyklisch mit der Ausgabe der Daten ab. Auf den dritten Rechner wird dann im Störfall umgeschaltet. Dies funktioniert ohne Unterbrechung. Die verwendeten Rechner sind hier handelsübliche Computer, im Gegensatz zu den extra gebauten Rechnern für Simis-C. Für die interne Datenübertragung werden entweder Einzel- oder Doppeltelegramme verwendet. Die Anzeige, sowie die Kommandofreigabe-Taste sind identisch zu Simis-C. [2]

C. ELEKTRA

ELEKTRA ist ein Stellwerk welches die österreichische Bundesbahn bei der Alcatel Austria AG in Auftrag gab. Hierbei wurde Alcatel größtmögliche Freiheit in der Entwicklung gelassen. Dadurch konnten diese ihre bereits bestehenden Basistechnologien von öffentlichen sowie privaten Kommunikationssystemen übernehmen. Die Entwicklung dieser Stellwerke fand zeitgleich zu Simis-C und ESTW L90 statt und ging im Jahre 1989 in Österreich in den Betrieb.

Es bestehen Ähnlichkeiten zum ESTW L90, wie etwa die Verwendung handelsüblicher Rechner oder auch die Art der internen Kommunikation. Der Hintergrund dafür ist, dass die verantwortlichen Firmenteile von ALCATEL ihre Ursprünge in der Kommunikationsbranche haben.

Während bei Simis-C und ESTW L90 auf Hardwareredundanz mit mehreren Rechnern gesetzt wird, wird hier Redundanz auf Softwareebene realisiert. Dabei hat das System einen Logikkanal und einen Sicherheitskanal (Safety Bag). Die eingegeben Befehle werden zuerst im Logikkanal auf die Richtigkeit überprüft und dann für die Anzeige vorbereitet. Vorher aber wird überprüft, ob das

Ergebnis zu einem gefährlichen Zustand führen kann oder nicht (Safety Bag Verfahren). Sind beide Überprüfungen in Ordnung, wird das Kommando ausgeführt.

Da bei Software nie davon ausgegangen werden kann, dass diese fehlerfrei umgesetzt worden ist, wurden zwei verschiedene Programmiersprachen für die beiden Kanäle verwendet. Im Logikkanal ist die Programmiersprache CHILL verwendet worden und im Sicherheitskanal die regelorientierte Sprache PAMELA. Da beide Teilbereiche unabhängig voneinander programmiert wurden sind gemeinsame Fehler unwahrscheinlicher und das System somit sicherer.

Damit ELEKTRA gegen Hardwareversagen abgesichert ist wurde das VOTRICS (Voting Triple Modular Redundant Computing System) realisiert. Hierbei wird ein 2v3 Vergleich von Rechenergebnissen mit 3 Rechnern vollzogen. Dadurch ist es möglich einen defekten Rechner zu erkennen und die Fehlertoleranz wird erhöht. Möglich ist aber auch eine 2v2 Variante. Hierbei gibt es zusätzliche Entscheidungsparameter, mit denen sich ein Rechner zuerst selber prüfen kann. [2]

III. SYSTEMARCHITEKTUR

Um die Architektur des Systems besser zu verstehen, zeigen wir kurz zu Beginn die Hierarchie des Gesamtsystems auf (siehe Abbildung 1). In Zukunft wird das gesamte Netz der DB AG aus sieben Betriebszentralen (BZ) am Ort der Niederlassungen gesteuert und überwacht. Um den vollen Nutzen der Betriebszentralen zu erlangen, werden die Stellwerke technisch an die BZ angebunden. Somit können sie direkt das Betriebsgeschehen beeinflussen (ohne Umwege wie z.B. über das Telefon) [3]. Daraus ergibt sich ein lückenloses, hierarchisches Gesamtsystem von der Disposition bis zu den Elementen der Außenanlage.

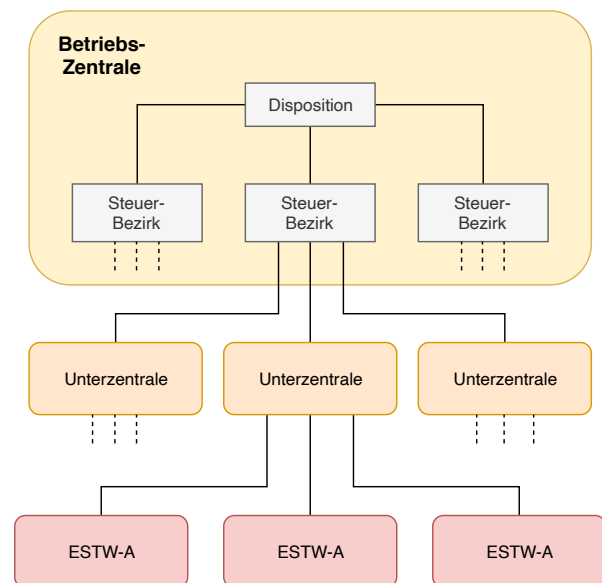


Abb. 1. Hierarchie des Gesamtsystems [4]

Die Systemarchitektur elektronischer Stellwerke wird in drei Ebenen unterteilt. In Abbildung 2 findet sich eine vereinfachte bzw. verallgemeinerte Systemarchitektur eines elektronischen Stellwerks.

Die erste dieser Ebenen ist das Segment für externe Geräte, in dieser befindet sich der Leitstand. Hier wird auch der aktuelle Zustand des jeweiligen Streckenbereichs beobachtet und gegebenenfalls anfallende Änderungen durchgeführt. Sämtliche Aktionen werden in dieser Ebene von einem/einer Fahrdienstleiter/in an einem der Bedienplätze ausgeführt. Die Bedienplätze interagieren über ein Bediensystem mit der gesamten Anlage. Dadurch haben alle Plätze kontinuierlich die gleiche Sicht auf die jeweiligen Gleisabschnitte. Im Falle von Notfällen, kann man durch diese Ebene den kompletten zugehörigen Streckenabschnitt manuell steuern.

Ebene Nummer zwei ist die Sicherungs-/Bedienverarbeitungsebene. Die gesamte Logik des Stellwerks wird von einem oder mehreren zentralen Sicherheitsbausteinen dargestellt. Sämtliche in dieser Ebene verbauten Bauteile und Komponente sind im Generellen herstellerspezifisch und werden kommerziell vertrieben. Je nach Größe der Stellwerke müssen die Komponenten und Bausteine sowie deren Anzahl angepasst werden. Um dem Sicherheitslevel gerecht zu werden und eine gewisse Ausfallsicherheit zu gewährleisten, verfügen die Sicherungskomponenten über redundante Datenleitungen. Bei modernen Bahnanlagen werden diese Datenleitungen als Ringleitungen gelegt. Das bedeutet, dass sie jeweils an dem Sicherungsbaustein starten und enden. Der Vorteil hierbei ist dass falls eine der Leitungen an einer beliebigen Stelle beschädigt wird, die Signale durch die entgegengesetzte Richtung trotzdem noch zum Empfänger gelangen können. Diese Art von Ausfallsicherheit kann natürlich nur gewährleistet werden, wenn nicht mehrere Stellen der Ringleitung defekt sind. Falls das doch der Fall ist, kann es zu unerwarteten Nebeneffekten kommen.

Die soeben beschriebenen Datenleitungen werden meistens mit einem Steuergeräteschrank verbunden, welcher sich auf der dritten Ebene, der sogenannten Stellebene befindet. In den Schränken befinden sich Konzentratoren und Objektsteuergeräte. Konzentratoren ermitteln die Steuersignale aus den Ringleitungen und dienen somit als Schnittstelle zwischen Sicherungs- und Stellebene. Die Objektsteuergeräte sind jeweils einer Feldeinheit zugeordnet und somit für die Steuerung einer Weiche oder eines Signals verantwortlich. Für sehr komplexe Streckenabschnitte werden viele dieser Steuergeräte benötigt. Es können ungefähr 300 Objektsteuergeräte über einen zentralen Sicherheitsbaustein gesteuert werden. Für spezifische Anwendungen, z.B. um Informationen über die Position eines Zuges zu bekommen, können auch Achszähler (Balisen) mit den Steuergeräten verbunden werden. Auf diese Weise können so auch Informationen an den Sicherheitsbaustein und damit auch an den Bedienplatz zurück gesendet werden. Um eine redundant ausgelegte Architektur zu erlangen können die zentralen

Sicherheitsbausteine mehrfach angelegt werden. Dabei werden sämtliche Daten an alle redundanten Bausteine geschickt. Das hat zum Vorteil, dass sich sämtliche Reservesysteme immer im gleichen Zustand wie das operierende System befinden. Wenn nun ein System ausfällt, kann das Rückfallsystem ohne Verzögerung einspringen und übernehmen. Dieses System der Redundanz wird auch heiße Redundanz genannt, da die Komponenten während des Normalbetriebs arbeiten. Im Falle von kalter Redundanz müsste ein Verfahren vorhanden sein, welches das Ersatzsystem erst im Fehlerfall in Betrieb nimmt.

Im Falle einer Weichenänderung muss ein/e Fahrdienstleiter/in am Bedienplatz das jeweilige Element im Gleisschaltbild modifizieren. Im darunterliegenden Bediensystem werden die Eingaben ausgewertet und überprüft und dann anschließend an den zuständigen Sicherheitsbaustein weitergeleitet. Bei der Überprüfung wird getestet, ob die Änderung valide ist und systemkonform durchgeführt werden kann. Der zuständige Baustein prüft dabei auch, ob es durch die zu ausführende Aktion zu einer Gefährdung im laufenden Betrieb kommen kann. Falls nun eine Änderung vom System als in Ordnung angesehen wird, so wird über die Übertragungsschleife der zugehörige Steuergeräteschrank selektiert und das passende Objektsteuergerät führt dann den Schaltvorgang aus. Im Falle eines Fehlers bzw. einer Ablehnung durch den Sicherheitsbaustein wird der/die Fahrdienstleiter/in informiert und die Aktion wird nicht ausgeführt. Es gibt jedoch eine Möglichkeit sich über die Sicherungsmaßnahmen des Systems hinwegzusetzen und die Änderung zu erzwingen. Dieser Vorgang der Außerkraftsetzung der Sicherheitskomponente führte auch zum Zugunglück in Bad Aiblingen [5]. Akzeptierte Instruktionen werden dann an die passenden Steuergeräteschranke weiter geleitet, dazu wird die Stellanweisung kodiert und auf einer der Ringleitungen versendet. Die kodierten Anweisungen werden dann im zuständigen Steuergeräteschrank vom Konzentrator extrahiert. Der Konzentrator schaltet anschließend die Stellanweisung und die notwendigen Objektsteuergeräte. Diese Geräte sind dann mit den physikalischen Gerätschaften (Signale, Weichen, Schranken ...) am Gleis verbunden. Interessant hierbei ist, dass die Objektsteuergeräte nicht zusätzlich gegen mögliche Ausfälle abgesichert sind. Wenn nun eines der Geräte ausfällt, muss der komplette Abschnitt und sämtliche davon abhängige Bereiche gesperrt werden, bis der Fehler behoben wurde.

In aktuellen Anlagen ist es möglich, dass Stellwerke Informationen austauschen können. Hierzu ist es notwendig, dass diese Kommunikation gesichert abläuft und ein Empfangen der Nachrichten sichergestellt werden kann [6].

IV. ZUVERLÄSSIGKEIT

Wie auch bei mechanischen Stellwerken trifft die Zuverlässigkeit des Systems eine hohe Wichtigkeit, da im Falle einer Störung oder eines Fehlers Personen und somit Leben bedroht sind. Für die Gewährleistung der Zuverlässigkeit werden Maßnahmen in verschiedenen

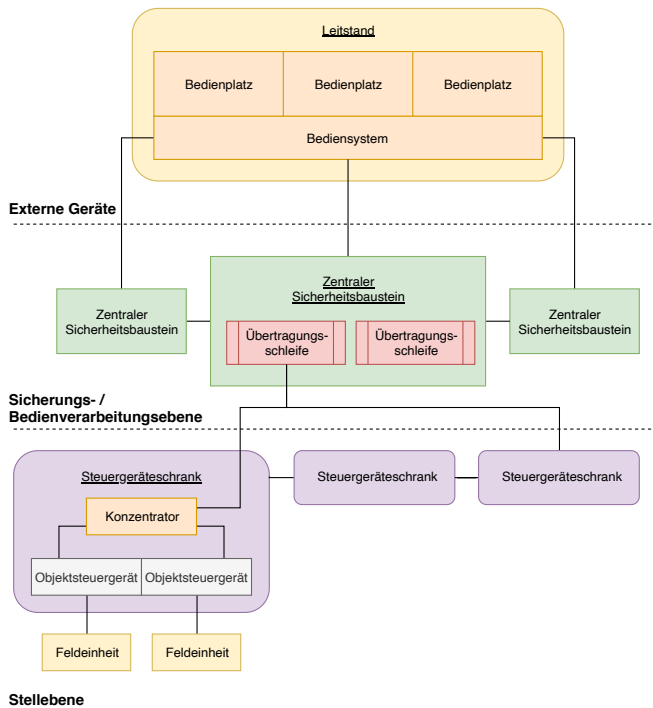


Abb. 2. Systemarchitektur eines elektronischen Stellwerks

Bereichen getroffen. Die Anwendungsbereiche lassen sich grob unterteilen in Datenverarbeitung, Datenübertragung und Bedienung.

A. Datenverarbeitung

Zur Datenverarbeitung zählen alle Prozesse, die eine Berechnung unter Rücksichtnahme von Eingabewerten durchführen und das daraus resultierende Ergebnis als Ausgabewert zurückliefern. Die Zuverlässigkeit solcher Berechnungen kann durch Redundanz erhöht werden. Diese Redundanz wird erreicht indem mehrere identische Rechner zeitgleich die selbe Software ausführen und anschließend deren Ausgabewerte verglichen werden.

Das *ESTW SIMIS-C* und weitere Rechnersysteme, die nach dem *SIMIS*-Prinzip konfiguriert sind, nutzen mindestens zwei (2v2) voneinander unabhängige, baugleiche, taktsynchron arbeitende und identisch programmierte Mikrocomputer (siehe Abbildung3). Die Eingabewerte erreichen alle beteiligten Rechner, welche diese unabhängig verarbeiten. Ein Hardware-Vergleicher liest den Speicher der jeweiligen Rechner aus und sichert somit die Übereinstimmung der Eingabewerte und Ergebnisse. Nur wenn die Mehrheit der Rechner ein übereinstimmendes Ergebnis vorweist werden diese ausgegeben.

Bei *ESTW L90* wird die Redundanz innerhalb des Sicherheitsbausteins *SELMIS* umgesetzt. Hier wird vorrangig die 2v3 Konfiguration (siehe Abbildung4) eingesetzt bei der zwei der drei Rechner abwechselnd Daten ausgeben und der dritte Rechner ebenfalls das Programm durchläuft, aber keine

Ausgabe tätigt. Bei einem Ausfall einer der ersten beiden Rechnern wird automatisch auf den dritten umgeschaltet um weiterhin zwei parallel arbeitende Rechner zur Verfügung zu haben. Wie beim *SIMIS*-Prinzip werden auch hier Eingabe- und Ausgabedaten mittels Software verglichen. [2]

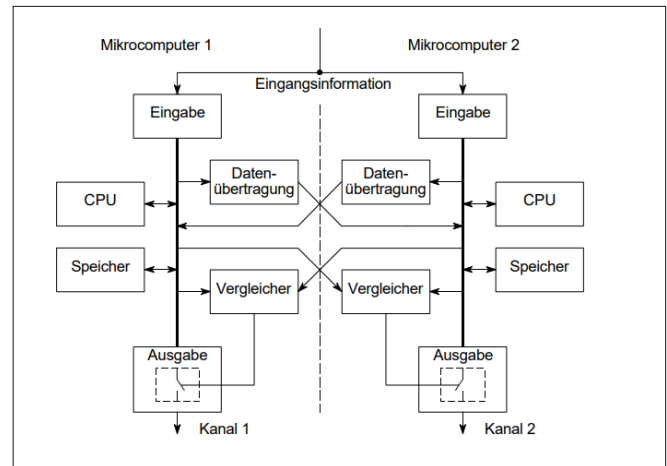


Abb. 3. 2v2 Konfiguration [2]

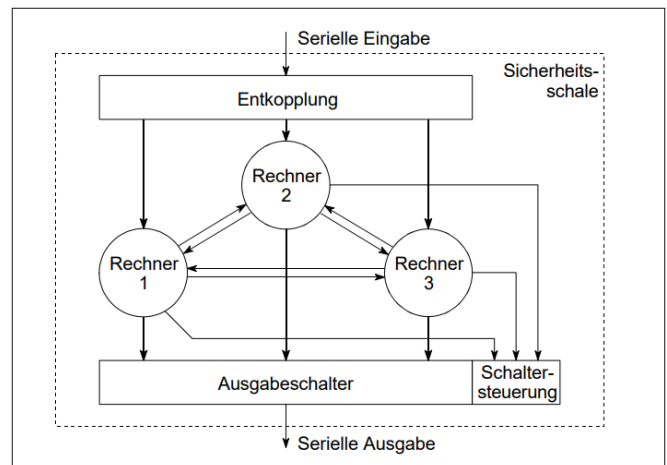


Abb. 4. 2v3 Konfiguration [2]

B. Datenübertragung

Die Zuverlässigkeit der internen Kommunikation wird mittels Prüfsummen und Zwei-Kanal Datenübertragung sichergestellt. Das *ESTW SIMIS-C* nutzt für den internen Datenaustausch normierte Telegramme. An diese wird eine redundante Prüfsumme angehängt, die vom Empfänger ebenfalls berechnet wird. Eine Nicht-Übereinstimmung der Prüfsummen indiziert Fehler in der Übertragung, z.B. verursacht durch eine zufällige Störung des Signals. Diese äußern sich in Bitflips, d.h. ein oder mehrere Bits der Übertragungsdaten kehren ihren Wert um. Bei *ESTW SIMIS-C* werden für die Prüfsumme zwei Byte verwendet, was die Identifizierung von bis zu vier gleichzeitig in einem Telegramm auftretenden Bitfehler garantiert.

Beim Auftreten einer Störung bei einem Kommunikationskanal wird dieser abgeschaltet und die Kommunikation läuft vorübergehend auf nur einem Kanal weiter. Wenn dieser Fall eintritt werden Langtelegramme verwendet, welche die doppelte Länge eines Normaltelegramms haben. Die Nachricht des gewöhnlichen Telegramms wird kopiert und invertiert und anschließend an die ursprüngliche Nachricht angehängt. Die Prüfsumme wird weiterhin am Ende des Telegramms angefügt.

Eine weitere Sicherheitsmaßnahme dient dem Prüfen der Verbindung zwischen einzelnen Rechnern. Durch das Versenden von sogenannten Betriebsfähigkeitstelegrammen wird die ordnungsgemäße Kommunikation überprüft ohne dass ein betrieblicher Datenaustausch stattfindet. [2]

C. Bedienung

Da bei elektronischen Stellwerken Bedienung durch den Menschen unabdingbar ist muss die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine ausreichend gesichert sein. Dies beinhaltet die Bedienung durch den Mitarbeiter, beginnt aber bereits bei der sicherheitsrelevanten Darstellung der Bedienungsoberfläche. Um zu vermeiden dass falsche Eingaben aufgrund einer inkorrekten Anzeige der Daten auf einem Bildschirm getätigt werden, wird erneut auf Redundanz zurückgegriffen. Die sogenannte Sichtgeräte-Doppelsteuerung *SIDOS* sorgt dafür, dass die anzuzeigenden Bilder immer zweikanalig, also von zwei verschiedenen Grafikkarten, eingespeist werden. Zwischen diesen beiden Signalen wird in kurzen Abständen alterniert, was bei abweichenden Signalen zu einem Blinken im Betroffenen Bildteil führt und damit auf einen Fehler aufmerksam macht. Bei neueren Bedienplätzen wird von einer visuellen Lösung abgesehen und stattdessen ein parallelgeschalteter Referenzrechner hinzugefügt der bei fehlerfreiem Betrieb die gleiche Speicherbelegung wie der Bedienplatzrechner vorweisen kann.

Auch bei korrekter Anzeige aller Bedienelemente können Fehler passieren, die auf Unachtsamkeit des Mitarbeiters zurückzuführen sind. Um dieser Fehlerquelle entgegenzuwirken wurde das Kommandofreigabe/*KF*-verfahren entwickelt. Bei kritischen Befehlen muss die Aufmerksamkeit erhöht sein und versehentliche Eingaben müssen verhindert werden. Hierfür muss der Mitarbeiter bei der Eingabe eines solchen Befehls zusätzlich zur normalen Bedienung die *KF*-Taste drücken, welche direkt mit dem Stellwerk verbunden ist und nicht mit dem Bedienplatzrechner kommuniziert. Zusammen mit einer Zeitverzögerung bis zur Annahme des kritischen Befehls beim Stellwerk soll damit sichergestellt werden dass die Eingabe bedacht und gewollt geschehen ist. Bei modernen Implementierungen wird auf eine isoliert verbaute *KF*-Taste verzichtet, ihre Funktion wird durch zwei in die Bedienoberfläche integrierte *KF*-Tasten übernommen. Bei Eingabe eines kritischen Befehls muss der Mitarbeiter die *KF1* Taste mitbetätigen, analog zur vorher beschriebenen Implementierung, anschließend gelangt das Signal zum Stellwerk, wird ausgelesen und an das Bedienplatzsystem

zurückgeschickt, wo verglichen wird ob der empfangene Befehl mit dem gesendeten Befehl übereinstimmt. Hier sind Bedienplatzrechner und der oben genannte Referenzrechner beteiligt. [2]

V. ZUKUNFT DER STELLWERKE

Durch die stetige Verbesserung von Computern und dem allgemeinen Ausbau des Internets in Deutschlands, eröffnen sich neue Wege für Stellwerke. Zudem wurden ältere Stellwerkmodelle modernisiert und mit bereits vorhanden Technologien kombiniert.

A. Simis-D

Bei Simis-D handelt es sich um die Weiterentwicklung von Simis-C. Hier wurde von der grundlegenden Systemarchitektur und Sicherheitsvorkehrungen wenig geändert, sondern mehr im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Kostenersparnis.

Im Jahr 2005 ging Simis-D in die Testphase über und wurde auf der Strecke Annaberg - Buchholz eingesetzt. Hier wurde sowohl die Hardware als auch die Software modularer aufgebaut. Somit ist es einfacher Stellwerkanlagen in unterschiedlichen Größen zu realisieren. Zudem besitzt diese Version bessere Schnittstellen, wodurch die Signale, Weichen und Blockeinrichtungen besser gesteuert werden können. Die größte Verbesserung in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und Kosten ist die Reduzierung der benötigten Kabel. Durch ein optimiertes Konzept der Anbindung von Außenanlagen, dezentral platzierter Elektronik, sowie das Verwenden von vorhanden Leitungswegen für die Kommunikation, ist es möglich bis zu 35% Kabel zu sparen im Hinblick auf andere Stellwerksysteme. Außerdem ist es nun möglich Hardware, wie etwa Rechner, durch handelsübliche Ware zu ersetzen. Zudem konnte durch den Einsatz neuer ESTW-Techniken, und einen modularen dezentralen Stellteile, eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit um 30% erreicht werden. [7]

B. Digitale Stellwerke

Bei digitalen Stellwerken handelt es sich um die Weiterentwicklung von elektronischen Stellwerken. Dabei ist der Unterschied zwischen beiden die Ansteuerung der Stelleinheit im Schienennetz. Hierbei verwendet die digitale Variante ein IT-Datenkabel um über ein IP-Netzwerk die nötigen Signale zu übermitteln. Somit entfallen zum einen die Kosten für die Kupferkabel und zum anderen kann das neue Netz mit einer dezentralen Energieversorgung auskommen, wodurch weitere Kabeleinsparungen möglich sind. Zudem können die Stellwerke nun über willkürlich große Distanz gesteuert werden, da die vorher notwendige individuelle Verbindung von Stellwerk zu Stellelement nicht mehr gegeben sein muss. Außerdem kann der Zugbetreiber bereits bestehende Telekommunikations- und Energieinfrastrukturen verwenden. Durch die Digitalisierung ist es zudem möglich leichter Fehler zu finden. Außerdem verringert sich der Wartungsaufwand, was wiederum die Nachhaltigkeit fördert.

Zudem wird mit dem Einzug der Digitalen Stellwerke versucht alle Stellwerke zu vereinheitlichen, da

in Deutschland im Schienennetz immer noch eine Vielzahl an verschiedenen Stellwerken (mechanische, elektro-mechanische, Relais-Bauweisen und ESTW) verwendet werden. Somit wäre es auch einfacher Fachkräfte und Wartungspersonal auszubilden und die Deutsche Bahn allgemein wettbewerbsfähiger zu machen. [8]

C. EULYNX

Bei EULYNX handelt es sich um einen europäischen Zusammenschluss von 13 Zugbetreibern wie unter anderem die Deutsche Bahn oder die Österreichische Bundesbahn. Er wurde 2014 gegründet und befindet sich nun in der dritten Phase für eine Grundlage der Vereinheitlichung. Dabei ist das Ziel dieses Zusammenschlusses eine einheitliche Bedienschnittstelle, digitale Steuerung sowie die Automatisierung des Schienenverkehrs. Somit würde jedes europäische Schienennetz auf dem gleichen Bau- und Sicherheitsstandard laufen. Diese Vereinheitlichung bringt auch der Industrie seine Vorzüge, da Teile für das Schienennetz nicht mehr nur spezifisch für einen Betreiber hergestellt werden müssen, sondern alle Betreiber die gleichen Teile verwenden können. [9]

Im Hinblick auf die Zukunft der Stellwerke in Deutschland ist zu sagen, dass es noch ein weiter Weg ist. Zum einen sind noch nicht alle älteren Modelle durch elektronische Stellwerke ersetzt worden, zum anderen gibt es bereits mit der Entwicklung von digitalen Stellwerken die nächste Version. Interessant wird es zu beobachten, wie das EULYNX-Projekt den Standard innerhalb von Europa setzt und somit die Kosten aller Betreiber senken kann. Dadurch kann man davon ausgehen, dass die Modernisierung des Schienennetzes wohl kostengünstiger und schneller vorangehen wird als in den letzten Jahrzehnten.

REFERENCES

- [1] CIA. "The World Factbook - Railways" "<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/384.html>" Stand Oktober 2020
- [2] Ulrich Maschek. "Analyse zur Gestaltung elektronischer Stellwerke" 1996 Diplomarbeit Technische Universität Dresden
- [3] DB AG. "Systemarchitektur und Vernetzung BZ/UZ" Lastenheft 415.9012, Stand F06/97/B3
- [4] Sigurd Mura. "Einbindung vorhandener Stellwerke in das BZ-Konzept"
- [5] Wikipedia "Eisenbahnunfall von Bad Aibling" Stand Oktober 2020 "https://de.wikipedia.org/wiki/Eisenbahnunfall_von_Bad_Aibling"
- [6] Torge Hinrichs. "IT Sicherheit in künftigen digitalen Zugsicherungssystemen - Potentielle Risiken und Analyseansätze" 2017 Masterarbeit Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
- [7] Siemens. "Simis D - Neue Stellwerksplattform" Broschüre 2008
- [8] Deutsche Bahn. "https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/digitale_lst/allgemein-3084902" Stand Oktober 2020
- [9] EULYNX. "www.eulynx.eu" Stand Oktober 2020