

Stellwerkstechnik für Regionalstrecken in Deutschland

Dipl.-Ing. Stephan Tschorn

Vossloh System-Technik GmbH, Berlin

Stellwerkstechnik für Regionalstrecken in Deutschland

Einführung

Die Regionalstrecken der Deutschen Bahn AG umfassen nach heutiger Betrachtungsweise ca. 9.000 Streckenkilometer. Bezüglich der betrieblichen Infrastruktur sind in der Richtlinie 413 u.a. folgende Streckenkategorien definiert:

- R120 – Regionalverkehrsstrecke (wesentliches Merkmal: 80 Z/d bei v_{\max} bis 120 km/h)
- R 80 – Regionalverkehrsstrecke (wesentliches Merkmal: 50 Z/d bei v_{\max} bis 80 km/h)

Viele dieser Strecken haben eines gemeinsam: ein Investitionsstau bezüglich der Infrastrukturerhaltung und –erneuerung. Ein immenser Kostenblock ist hier neben dem Gleis- und Brückenbau die Signaltechnik.

Die heute auf den Regionalstrecken vorhandene Technik besteht zu großen Teilen aus mechanischer bzw. elektromechanischer Stellwerkstechnik. Neben einem hohen Personalaufwand (z.T. Befehls- und Wärterstellwerk) führen Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen zu erheblichen Betriebskosten, die durch die Einnahmen bei Weitem nicht gedeckt werden können.

Dieser Vortrag soll eine Möglichkeit für die Erneuerung der vorhandenen Stellwerkstechnik auf Regionalstrecken am Beispiel einer demnächst in Schweden zum Einsatz kommenden Technik aufzeigen. Über die reine Stellwerkstechnik hinaus ist gerade auf Regionalstrecken ein umfassender Einsatz von Leit- und Informationstechnologie anzustreben um den Automatisierungsgrad und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen und somit letztendlich die Ertragssituation zu verbessern.

Betriebliche und technische Anforderungen an die Stellwerkstechnik auf Regionalstrecken

Die zu realisierenden betrieblichen Funktionen ergeben sich aus dem geplanten Betriebsprogramm und dem örtlichen Betriebsgeschehen. Im Folgenden werden die wichtigsten Funktionen genannt:

- Kreuzen, Überholen von Zügen
- Kombinationsfahrstraßen
- Rangierbereiche/Nahbedienungen
- Zugnummernmeldungen in Fahrstraßen
- Anbindung von Fahrgastinformationsanlagen
- Bedienung der Bahnhöfe aus einer Fernsteuerzentrale
- Möglichkeiten zur örtliche Bedienung
- Protokollierung aller Bedienungen
- Alarmer, Fehleranzeigen
- komfortable und preiswerte Wartung und Instandhaltung

Die entscheidenden sicherungstechnischen Funktionen variieren je nach betrieblicher Aufgabenstellung. Folgende Funktionen sind für Regionalstrecken bedeutend:

- Zugfahrstraßen mit Speicherung
- Sicherung von Ausweichanschlussstellen (Awanst)
- Einbeziehung von Schlüsselsperren und Gleissperren
- Schnittstellen zu vorhandenen und neu zu errichtenden Bahnübergangssicherungsanlagen aller bekannten Bauarten sowie Bahnsteigzugangssicherungen
- Hauptsignale, Vorsignale, Zusatzsignale
- elektrische Weichen, elektrisch ortsbediente Weichen

- punktförmige Zugbeeinflussung
- automatische Fahrstraßenauflösung
- bestimmte Hilfsbedienungen in Störungsfällen (Achszählgrundstellung usw.)
- Blockfunktionalität

Bei der DB AG sind neben der auf Regionalstrecken häufig anzutreffenden mechanischen und elektro-mechanischen Stellwerkstechnik bis heute folgende Techniken im Einsatz bzw. werden und wurden in Erneuerungsprojekten vorgesehen:

- Zugleitbetrieb DS 436 (VZB)
- Signalisierter Zugleitbetrieb DS 437 (SZB)
- FunkFahrBetrieb (FFB) nach Lastenheft
- ESTW nach Systemvertrag 2 (SV2)

Eine spezielle ESTW-Spezifikation für Regionalstrecken ist bisher nicht veröffentlicht.

Im Folgenden wird eine für den schwedischen Netzbetreiber Banverket entwickelte Stellwerkstechnik („ALISTER“) vorgestellt, die so oder in ähnlicher Ausprägung auch die Anforderungen der deutschen Regionalstrecken erfüllen kann.

Aufgabenstellung Banverket (Schweden)

Die Ausgangslage in Schweden lässt sich folgendermaßen beschreiben: Es gibt rund 800 Stellwerke, von denen etwa 90% kleine Stellwerke sind mit typischerweise zwei bis acht Weichen. Die meisten dieser Stellwerke sind Relaisstellwerke, die sich nach 30 bis 40 Jahren dem Ende ihres Lebenszyklus nähern. Um eine kostengünstige und zukunftsträchtige Lösung für die Nachrüstung zu finden, schrieb der schwedische Netzbetreiber Banverket einen Entwicklungsauftrag zur Lösung des Problems aus. Der Entwicklungsauftrag ging an die Vossloh System-Technik Malmö AB (frühere NovoSignal AB), die als Grundlage für die Entwicklung der neuen Technik die Normen EN 50126/50128/50129 verwendet hat.

Für eine zukunftsweisende Lösung ist neben der Verwendung der anerkannten Normen zur Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens auch ein weiterer Punkt von Bedeutung. Die meisten der bisherigen ESTW basieren auf speziellen technischen Hardwareplattformen, deren Komponenten bei dem heutigen raschen Technologiewandel schnell veraltet und nicht mehr verfügbar sind, bevor die vom Kunden gewünschte Lebensdauer eines ESTW (20 bis 30 Jahre) erreicht ist. In der Mechanik und Relaisstechnik war es jederzeit möglich, Komponenten zu fertigen, wenn auch zu hohen Preisen. In der Elektronik ist es selbst unter hohen Kosten nicht mehr möglich, Komponenten nachzubauen. Prozessoren z.B. sind nicht mehr lieferbar und alle Fertigungsstraßen dafür existieren nicht mehr. So mussten Produkte schon nach wenigen Jahren abgekündigt werden, weil Ersatzteile nicht mehr verfügbar sind.

Aus diesen Gründen wurde als Ansatz die konsequente Verwendung von Industriekomponenten vorgesehen, die durch die hohen Stückzahlen zuverlässiger in der Lieferung sind und in den meisten Fällen durch funktionskompatible Bauteile ersetzt werden können. Die meisten Industriezweige haben den Wechsel auf Industriekomponenten bereits vor vielen Jahren vorgenommen. Die Signaltechnik steht durch die beschriebenen Zwänge vor dem erforderlichen Schritt in diese Richtung. Die konsequente Umsetzung aus dem Genannten bedeutet: wesentlich geringere Kosten für die Hardware und deutlich reduzierte Life-Cycle-Costs.

Übersicht

Das Stellwerk für Regionalstrecken „ALISTER“ ist ein Stellwerk elektronischer Bauform. Das System ist gekennzeichnet durch die weitgehende Verwendung von Industriestandards für Hard- und Software.

Es besteht aus folgenden Subsystemen, unterschieden in sichere und nicht-sichere Komponenten:

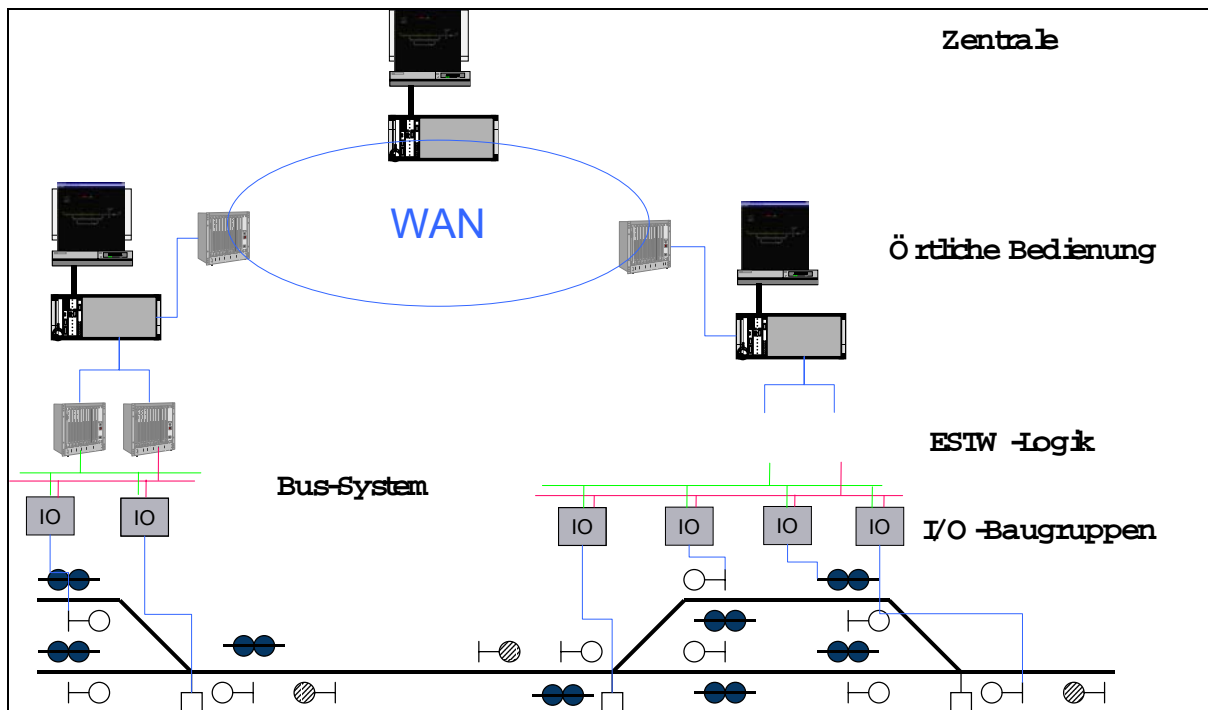
- Zugleitzentrale (nicht sicher)
- Örtliche Bedienungs-PCs (nicht sicher)
- Fahrwegelementesteuerungen (sicher)
- Übertragungssysteme (sicher)
- I/O-Baugruppen (sicher)

Als eigentliches Sicherungssystem fungiert ein zweikanaliges diversitäres SPS-Rechner-System.

Die sicheren I/O-Baugruppen sind ebenfalls zweikanalig in getrennten Gehäusen ausgelegt.

Zur Datenübertragung werden LWL verwendet. Somit wird eine störungsunempfindliche Signalübertragung gewährleistet und eine hohe EMV-Verträglichkeit erreicht.

Das Feldbus-System ist mit zwei industriellen Feldbussen diversitär ausgelegt. Der grundlegende Systemaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Das System erfüllt folgende EN-Normen nach **Safety Integrity Level (SIL) 4**:

- CENELEC EN 50126
- CENELEC EN 50128
- CENELEC EN 50129

Um SIL4 mit Hilfe von Industriekomponenten zu erreichen, wurde auf die konsequente Umsetzung der Lösung durch diversitäre Systeme gesetzt. Dabei werden sowohl Hard-, als auch Software diversitär eingesetzt. Die SW-Diversität wird allerdings nicht durch verschiedene Programmstrukturen umgesetzt, sondern durch den Einsatz unterschiedlicher Betriebssysteme und Projektierungswerkzeuge. Diese erhalten die gleichen Eingaben, die dann auf verschiedene Arten umgesetzt werden.

Besondere Aufmerksamkeit wurde auf die Berücksichtigung von Common-cause-failures gelegt. EN 50129 fordert die Berücksichtigung dieser Fehlerursachen, die durch erhebliche äußere Einwirkungen wie Blitzschlag, Brand, mechanische Beschädigungen oder Ähnliches entstehen können. Die Forderung ergibt sich aus EN50129, Punkt B.3.5. Dort ist festgelegt, dass eine Analyse zu erstellen ist, um sicherzustellen, dass Mehrfachfehler nicht aufgrund von Common-cause-failures entstehen können, sondern ausschließlich aufgrund von zufälligen Fehlern.¹

Sicheres zentrales System

Der ESTW-Kern besteht aus zwei Hard- und Software-diversitären Kanälen in einem Gestell, in dem jeder Kanal seine eigene Stromversorgung besitzt, um die Unabhängigkeit der Kanäle zu gewährleisten. Der sicherheitstechnische Kern des Systems ist im Kanal A eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) mit Intel CPU und im Kanal B eine SPS mit Motorola CPU. Beide Systeme haben intensive Selbsttestfunktionen.

Die Kommunikation zwischen den SPS läuft über zwei diversitäre Profibus-Verbindungen, wodurch die Anforderungen von SIL4 erfüllt werden.

I/O Baugruppen

Die I/O-Baugruppen verwenden zwei diversitäre ASICs. Zusammen mit der Ausgabelogik in den I/O-Baugruppen wird durch die diversitären Feldbusse eine worst-case Fehlerrate von 10^{-12} erreicht. Dieses Niveau erfüllt die Sicherheitsanforderungen bzgl. EN 50129 SIL 4.

Derzeit sind I/O-Baugruppen für Signale, Weichen und ATC-Balisen (schwedische Zugbeeinflussung) verfügbar. Mit diesen I/O-Baugruppen ist auch die Ansteuerung anderer Elemente wie BÜ, Relaisblockendstellen, Schlüsselsperren usw. realisiert.

Alle Ein- und Ausgänge sind mit Eigenprüfungsfunktionen ausgestattet, um Fehler zu offenbaren. Außerdem sind alle Eingänge und Ausgänge diversitär ausgeführt. Damit beide Kanäle unterschiedliches Fehlerverhalten bei CMF aufweisen, werden z. B. in Kanal 1 Optokoppler mit Spannungsschaltung und in Kanal 2 Optokoppler mit Stromgenerator verwendet.

Der Einbau ist in der Nähe des Weichenantriebs oder in den Signalschaltkästen möglich. Die I/O-Baugruppen sind für äußere Klimabedingungen von -40°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ zugelassen.

Jede I/O-Baugruppen hat eine redundante, interne Stromversorgung für jeden Kanal, um eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten. Außerdem hat jede I/O-Baugruppe ein integriertes Modem für die Feldbusankoppelung, die den Anschluss von weiteren I/O-Baugruppen in bis zu 3 km Entfernung ermöglicht.

Feldbussystem

Die Signalübertragung auf den LWL vom Stellwerkskern zu den I/O-Baugruppen erfolgt über Standard-Feldbus-Systeme. Dabei können standardmäßig Entfernungen bis 3 km sowie km bei Einsatz von Monomodefasern erreicht werden.

Systemprogrammierung

Das Stellwerk läuft mit zwei diversitären Programmierpaketen auf demselben PC mit zwei Boot-Optionen: für Kanal A WinNT und das Programm PG 95 und für Kanal B Win95 und das

¹ Mehr zu diesem Thema ist in IEC 61508 (Functional Safety - Safety Related Systems, 1997) und bei William M. Goble (Control Systems Safety & Reliability, ISA 1998), nachzulesen. Es sei darauf hingewiesen, dass die IEC 61508 zu diesem Thema sehr stark vertiefende Informationen und Anleitungen gibt und in der Industrie als der anerkannte Standard z. B. bei der Betrachtung von Kernkraftwerkssteuerungen gilt.

Programm STEP 5® 2 für Windows. Sowohl PG95 als auch STEP 5® für Windows haben dieselben Benutzerschnittstellen, Funktionsblöcke oder Programmierlisten. Es gibt auch eine für beide Kanäle verfügbare diversitäre Funktionsblockbibliothek.

Alle Funktionsblöcke haben Funktionen für Zustandsvergleiche zwischen den Kanälen.

Anwendungsfälle für andere Signalaspekte oder Weichenantriebe können leicht durch Verbindung externer Logik mit den vorhandenen Blöcken oder durch Entwicklung von neuen Funktionsblöcken erstellt werden.

Das ALISTER Stellwerk ist für kleinere Bahnhöfe mit bis zu 40 Stellobjekten wie Weichen oder Signalen vorgesehen. Größere Bahnhöfe können mit Systemen, die über die Feldbussysteme verbunden werden, abgedeckt werden. Ein Stellwerk kann auch BÜ's und Streckenblockfunktionen beinhalten.

Zu den Funktionen ist anzumerken, dass für ein vollständig nach CENELEC zertifiziertes Stellwerk eine qualitativ eindeutige Spezifikation zu Grunde liegen muss, um die Verifizierung der SW durch einen unabhängigen Assessor durchführen lassen zu können. Der schwedische Netzbetreiber Banverket hat daher die Spezifikation in einer mathematisch-logischen Sprache erstellen lassen, um Eindeutigkeit und Einheitlichkeit für die Zukunft zu erreichen.

Örtliches Bediensystem

Die Architektur des nicht sicheren Systems besteht aus einem SPS-System vom gleichen Typ wie dem sicheren Kanal A und einem PC.

Die Befehls-SPS

Die Befehls-SPS hat folgende Funktionen:

- Fahrstraßenspeicherung
- Zuglenkung
- Zugkreuzungen
- Fehler- und Störungsmeldungen
- Kommunikation mit der Leitzentrale
- Alternativ Kommunikation mit paralleler Schnittstelle zur Leitzentrale
- Kommunikation mit örtlichem Bedienplatz
- Befehle und Meldungen vom und zum sicheren System

Die Programmierung der Befehls-SPS hat die gleiche Struktur und Programmiersprache STEP 5®², wie die sicheren Kanäle.

Örtlicher Bedienplatz-PC

Befehle und Meldungen

Das örtliche Bedienplatzsystem basiert auf einem Industrie-Standard SCADA System. Es ist ein objektorientiertes System, in dem der Anwender seine eigenen Objekte erstellen kann. Das System hat eine Signalobjekt-Bibliothek mit grafischen Objekten wie:

- Gleiskreisen
- Weichenlage
- Signalstatus
- Befehlsfenster für Fahrstraßen und Objekte

Befehle zum sicheren System können entweder per Mausklick direkt auf das Objekt oder in Fenstern zur Objektanzeige eingegeben werden. Das System hat auch einen Encoder zur direkten

² STEP 5® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Siemens AG

alphanumerischen Kodierung von Fahrstraßen und Objektbefehlen. Befehle können so entweder nur per Maus oder nur per Tastatur mit alphanumerischen Zahlenfolgen eingegeben werden. Ein ergänzendes Monitorbild zeigt den Status des Stellwerks, des Netzes und der I/O-Baugruppen. Dies bietet dem Wartungspersonal umfangreiche Möglichkeiten zur Lokalisierung von Störungen. Das Bahnhofsbild und das Statusbild des Stellwerks können auch auf einem externen PC gezeigt werden, der über ein Modem angeschlossen ist. Diese Funktion ermöglicht dem Wartungspersonal, das Stellwerk auch von anderen Standorten aus zu überwachen und Störungen zu analysieren.

Protokoll- und Replay-Funktionen

Alle Befehle, Störungen und Ereignisse wie Fahrstraßeneinstellungen, Gleisbelegungen oder Weichenlagen werden als Ereignisse auf der Festplatte gespeichert. Diese Ereignisse können auf dem Bedienplatzmonitor erneut abgespielt werden (Replay-Funktion). Die Replay-Funktion kann entweder eine Ereignisfolge in Echtzeit zeigen oder einzelne Sequenzen von Ereignissen schrittweise abarbeiten.

Die Replay-Funktion kann ebenfalls über einen fernbedienten PC via Modem abgerufen werden. Auch das Abspielen über einen zusätzlichen PC mit der Basis-Software und der kopierten Ereignisfolge ist möglich.

Fernsteuerzentrale

Eine Fernsteuerzentrale für die Bahnhöfe kann mit der Standardverteilfunktion der Software, einem TCP/IP WAN und einer Windows SQL Serverapplikation aufgebaut werden. Die Funktionen der Fernsteuerzentrale können vom einfachen Stellen der Fahrstraßen bis zur automatischen Zuglenkung reichen.

Die Grundfunktionen der Fernsteuerzentrale können mit Hilfe der Standardfunktionen der Software generiert werden:

Die lokalen Bilder mit allen Anzeigen aus jedem Bahnhof, (A-Dorf, B-Dorf,...) sind ein Objekt, das mit einfachen Befehlen im Programm kopiert und auf ein Fenster reduziert werden kann. Alle Bahnhofsbilder können so leicht auf einem Bild zusammenkopiert und dann auf mehreren Bildschirmen dargestellt werden.

Von diesem Bild aus ist es möglich, alle Bahnhöfe auf dieselbe Weise wie eine lokale Bedienung in jedem Bahnhof zu steuern.

Durch Hinzufügen eines Microsoft-SQL Servers in das Netzwerk wird die Bereitstellung von folgenden Funktionen ermöglicht:

- Fahrstraßeneinstellung von einem Bahnhof über die Strecke mit mehreren Bahnhöfen
- Vorzugsfahrstraßen über mehrere Bahnhöfe
- Zugnummerdarstellung (ZN-Darstellung)
- Zuglenkung, abhängig von ZN und Zugtyp

Meldebildanzeige

Der schwedische Netzbetreiber und ALISTER-Auftraggeber verzichtet, wie Betreiber in anderen europäischen Ländern, auf die komplexe Funktion einer sicheren Anzeige, die jedoch in ALISTER realisiert werden kann.

Der Verkehr im Störungsbetrieb wird über Zugfunk oder Streckentelefone abgewickelt. Dieses Verfahren wird in Schweden auch auf allen Hauptbahnen eingesetzt.

Stromversorgung

Die Stromversorgung (SV) der Zentrale erfolgt über ein redundantes SV-Modul, das aus Industriekomponenten zusammengestellt ist und die erforderlichen Spannungen zur Verfügung stellt.

Da die SV die häufigste Ausfallursache ist, sind die SV-Komponenten redundant, um eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten. Die SV ist ebenfalls über eine Batterie gepuffert. Somit besitzt jedes SV-Modul eine eigene unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV).

Die I/O-Baugruppen werden in Schränken montiert, in denen sich ebenfalls jeweils eine vollständige SV mit Pufferung befindet. Die Module sind kompakt in einem Teil des Schrankes montiert.

Die Spannungsversorgung der Gleisobjekte erfolgt nicht, wie bisher in Deutschland üblich, über Kabeladern, die vom Stellwerk zum Objekt verlegt sind. Stattdessen werden die Befehle zur Steuerung der Elemente per LWL zur I/O-Baugruppe übertragen. Die I/O-Baugruppe wird über die SV vor Ort mit Spannung versorgt und schaltet die Signalspannungen zum Element. Dabei sind die Stellentfernung von I/O-Baugruppe zum Objekt auf etwa 200 m begrenzt.

Die Stromversorgung der Schaltschränke kann entweder über einen lokalen Anschluss an das Energieversorgungsunternehmen (EVU) oder über ein Stammkabel zur Energieversorgung vorgenommen werden.

CENELEC – Zulassungsverfahren

Die komplette Dokumentation für das Zulassungsverfahren des Stellwerksystems ALISTER ist seit Juni 2001 verfügbar. Die Validierung und Verifizierung erfolgt durch dänische und norwegische Behörden und steht kurz vor dem Abschluss. Das Genehmigungsverfahren für das generische Produkt wurde im Rahmen der Cross-Acceptance beim EBA eingereicht.

Referenzanwendung

Das Stellwerksystem ALISTER wird derzeit als Prototypanlage in Gemla in Schweden installiert. Hierbei handelt es sich um eine vollwertige Anwendung auf einer Hauptstrecke.

Der Einsatz auf dem schwedischen Netz ist für die kommenden Jahre mit dem schwedischen Infrastrukturbetreiber Banverket vorgesehen.

Wartung und Service

Allgemeines

Zur einfachen und schnellen Fehlerdiagnose im Störfall sind die Steckkarten der Steuerungseinrichtung mit Leuchtdioden zur Anzeige wichtiger Systemzustände ausgerüstet. Zusätzlich werden wichtige Prozessdaten in einem Ereignisspeicher protokolliert und vom System erkannte Fehler in einem Fehlerspeicher registriert.

Weiterhin besteht im Rahmen der Realisierung die Möglichkeit, durch regelmäßige Analyse der protokollierten Systemzustände sich ankündigende Fehlfunktionen mit Hilfe der mitgelieferten Diagnosesoftware im Voraus ermitteln zu lassen und so die Schwachstellen vor Eintreten des Fehlers zu beheben.

Die I/O-Baugruppen geben ihre Zustandsdaten und Störungsmeldungen in die Zentrale, so dass dem Bediener Störungen am Monitor angezeigt werden und dieser umgehend die zuständige Fachkraft informieren kann. Zur Fehlerbeseitigung wird die defekte Baugruppe ausgetauscht.

Es handelt sich bei dem vorgestellten Stellwerkstyp um eine interessante Stellwerkstechnik, die dem europäischen Markt deutliche Impulse im Hinblick auf die Verwendung von Standardkomponenten und damit optimierte Life-Cycle Costs geben könnte.

Übertragbarkeit auf Anwendungen auf deutschen Regionalstrecken

Es kann festgestellt werden, dass die Übertragbarkeit des vorgestellten Systems für einen Einsatz auf deutschen Regionalstrecken möglich ist. Die Übertragbarkeit bezieht sich dabei auf zwei wesentliche Aspekte:

- Realisierung der funktionalen Anforderungen
- Erlangung einer Zulassung für den Einsatz in Deutschland

Die Definition der funktionalen Anforderung ist Voraussetzung für eine Risikoanalyse die wiederum zwingend für eine Zulassung nach CENELEC erforderlich ist. Die funktionalen Anforderungen können gegebenenfalls entsprechend der definierten Streckenkategorien variieren. Das kann neben dem Regelbetrieb auch den Betrieb mit Rückfallebenen betreffen. Die funktionalen Anforderungen münden in eine Spezifikation, die nach CENELEC die Voraussetzung für die Verifizierung der Generischen Applikation durch einen unabhängigen Assessor ist. Dabei ist eine Beschreibung mit mathematisch formalen Methoden zielführend.

Die Zulassung der einzusetzenden Technik in Deutschland erfolgt dann entsprechend der Anforderungen aus den CENELEC-Normen (EN 50126, 50128, 50129, ggf. 50159).

Die Generische Produktzulassung wird durch Cross-Acceptance-Möglichkeiten vereinfacht. Die Zulassung der Generischen Applikation für die DB AG kann u.U. die Erfahrungen in Schweden berücksichtigen. Die hierbei zu realisierenden Funktionen werden aber teilweise von der Generischen Applikation der schwedischen Anwendung abweichen.