

Elektronische Stellwerke bei den Schweizerischen Bundesbahnen

Autor(en): **Palm, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **78 (1987)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903831>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Elektronische Stellwerke bei den Schweizerischen Bundesbahnen

E. Palm

An Eisenbahnsicherungsanlagen werden hohe Anforderungen gestellt. Nach einem Rückblick auf Stellwerke mit mechanischen Verschlussregistern, mit elektrischen Schaltern und mit Drucktastenbedienung werden die beiden im Bau befindlichen Rechnerstellwerke und insbesondere deren Sicherheitsaspekte beschrieben.

De sévères exigences sont posées aux installations de sécurité ferroviaires. Après un aperçu des appareils d'enclenchement à registre mécanique, à manettes électriques et avec pupitre à schéma de voie, on décrit les deux postes d'enclenchement à ordinateur en construction ainsi que les aspects de leur sécurité.

1. Elektronik für Steuerungen mit Sicherheitsanforderungen

Im Verkehr zu Land, zu Wasser oder in der Luft hat die *Sicherheit* grosse Bedeutung. Die Bereitschaft, Risiken zu übernehmen, ist beim individuellen Verkehr wesentlich grösser als bei Massentransportmitteln. Auch bei vielen Steuerprozessen, z. B. in der Chemie oder in Kraftwerken, geht es um hohe Anforderungen an die Sicherheit. Die erreichbare Sicherheit stösst an Grenzen beim Aufwand, und der Versuch, sie beliebig zu steigern, führt zum Verlust an Verfügbarkeit. Bei vielen technischen Systemen darf in Störfällen der Zustand der schützenden Zurückweisung als sicherster angeboten werden. Beispielsweise wird ein Landverkehrsmittel im Störfall zum Stillstand gebracht. Solche Störzustände müssen jedoch selten sein, wenn das System eine hohe *Verfügbarkeit* haben soll. In diesen Begriff gehen Ausfallwahrscheinlichkeit und Reparaturzeit ein. Bei kleiner Verfügbarkeit eines Sicherheitssystems muss oft zu weniger sicheren Behelfsmitteln gegriffen werden.

Moderne elektronische Bausteine in Siliziumtechnologie gelten als zuverlässig und alterungsbeständig. Trotzdem ist die *Zuverlässigkeit* eines einzelnen Bausteines eine endliche Grösse. Beim Einsatz vieler Bausteine sinkt sie umgekehrt proportional mit deren Anzahl.

Es hat in den 50er und 60er Jahren viele Versuche gegeben, besondere elektronische Bausteine herzustellen (z. B. URTL-Logik) oder Schaltungen mit handelsüblichen Elementen zu entwickeln (z. B. eine Dreiphasen-Transistor-Ringkern-Logik von Siemens), welche Sicherheitsanforderun-

gen erfüllten. Allen Versuchen war gemeinsam, dass steuerbare dynamische Vorgänge unterbrechungsfrei abliefen, solange alle Elemente fehlerfrei arbeiteten. Der Stillstand wurde als sicherster, wirkungsloser Zustand gewertet.

Die Raumfahrttechnik hat den Einsatz programmierbarer Rechner für hochverfügbare Steuerungen mit Sicherheitsanforderungen entscheidend gefördert. Es mussten Lösungen gefunden werden, welche das mögliche fehlerhafte Verhalten von Rechnern berücksichtigen. Wie bei den elektronischen Bausteinen konnte von einer recht hohen Zuverlässigkeit eines einzelnen Rechners ausgegangen werden. Ferner durfte angenommen werden, dass über kurze Zeit gesehen keine zwei Rechner gleiche Störzustände zeigen würden.

Durch den gleichzeitigen Einsatz von mindestens zwei Rechnern musste deshalb beim Vergleich der Durchläufe ein und desselben Programmes eine Aussage über die Gültigkeit des Ergebnisses möglich sein. Sind die Aussagen bloss zweier Rechner ungleich, so muss das Ergebnis verworfen und deren Betrieb eingestellt werden. Ist aber ein dritter Rechner vorhanden, so kann der fehlerhafte Rechner durch einen Mehrheitsentscheid erkannt und abgeschaltet werden. Während einiger Zeit kann mit den restlichen zwei Rechnern weitergearbeitet werden.

Als weitere Rechneranwendung mit Sicherheitscharakter zählt die Verwendung zweier verschieden aufgebauter Programme. Diese beiden Programme laufen im selben Rechner und führen so lange zu gleichen Ergebnissen am Ausgang, wie der Rechner störungsfrei arbeitet. Beim Einsatz eines zweiten Rechners als heisse Reserve kann die Verfügbarkeit des Systems wesentlich gesteigert werden.

Adresse des Autors

Ernst Palm, dipl. Ing. ETH, Bauabteilung der Generaldirektion SBB, Chef der Unterabteilung Sicherungswesen, Mittelstrasse 43, 3030 Bern.

2. Bisherige Stellwerkgenerationen

2.1 Aufgaben des Stellwerkes

Ein wesentliches Merkmal der Eisenbahn ist ihre Spurbundenheit. Bei einspurigen Linien braucht es in bestimmten Abständen doppelspurige, meist bei Haltestellen (Stationen) angelegte Inseln. Die einfachste zweigleisige Station besitzt zwei Weichen.

In der Annahme, dass die beiden Fahrtrichtungen je einem der Stationsgleise zugeteilt sind, muss sichergestellt werden, dass für die Begegnung von Fahrzeugen (Zügen) in der Station – die Verzweigungsweiche für den einfahrenden Zug richtig und unter Verschluss steht,

- das Stationsgleis frei ist,
- der Gegenzug wartet, bis dieselbe Weiche frei, umgestellt und wieder verschlossen ist.

Auf der eingleisigen Strecke sind Folge- und Gegenfahrten auszu-schliessen (Streckenblock).

Werden für das Erteilen der Fahrerlaubnis Signale aufgestellt und sind diese sowie die Weichen alle von einer Stelle aus bedienbar (zentralisiert), so bilden die dazu nötigen Einrichtungen ein Stellwerk. Im Stellwerk werden Weichen und Signale in gegenseitige Abhängigkeit gebracht. Es schützt den Bediener vor Fehlhandlungen, welche zu Gefährdungen führen könnten.

2.2 Mechanische Verschlussregister

Bei den SBB gibt es immer noch mechanische und elektromechanische Stellwerke, deren Hauptmerkmal ein mechanisches Verschlussregister ist, welches die Weichen und Signale in gegenseitige Abhängigkeit bringt. Die Weichen und Signale der erwähnten zweigleisigen Station sind über zwei Weichenhebel und vier Signalkurbeln bedienbar (einfachster Vierkurbelapparat). Alle Antriebsorgane sind auf einem kräftigen eisernen, waagrechten Balken gelagert. Die Weichenhebel und Signalkurbeln treiben über ein Ritzel je eine Zahnstange. Über Formstücke (Verschlussstücke) auf den senkrechten Stangen der Weichen und Aussparungen in den waagrechten Stangen der Signale werden die gegenseitig wirkenden Abhängigkeiten hergestellt.

Die Verschlussicherheit des Stellwerkapparates hängt ganz von der Festigkeit, den Toleranzen und der Spiel-

freiheit dieser Mechanik ab. Zur Übertragung zu den Weichenantrieben und den Formsignalen dienen z. B. Doppeldrahtzüge, welche dank Spannwerken spielfrei arbeiten. Ein Drahtbruch führt zur Sperrung des Weichenantriebes oder lässt das Signal auf Halt fallen.

Diese rein mechanischen Verschluss-einrichtungen schützen den Bediener vor Fahrten über unverschlossene Weichen oder vor dem gleichzeitigen Stellen feindlicher Signale. Der Bediener ist aber selbst verantwortlich für die Benützung freier Gleise und die Rücknahme der Signale in die Haltstellung nach Vorbeifahrt eines Zuges und dem Räumen des Weichenbereiches.

Ein solches mechanisches Stellwerk wurde nach Konstruktionsplänen gebaut. Für das Verschlussregister wurde eine Verschluss-tabelle erarbeitet. Nach der Fertigstellung musste die richtige Funktion des Stellwerkapparates gemäss Eisenbahnverordnung bei allen Stellwerkarten nachgewiesen und bestätigt werden.

2.3 Elektrische Schalter mit Sperren

Beim mechanischen Stellwerk fühlte der Bediener die Verschlüsse mit der Hand. Wenn auch Weichen und Signale – jetzt meist Lichtsignale – mit Hilfe elektrischer Schalter gesteuert wurden, mussten die fühlbaren Verschlüsse erhalten bleiben. Die Schalter wurden deshalb mit elektromechanischen Sperren ausgerüstet. Als Verschluss-elemente dienten kreisförmige Scheiben auf den Schalterachsen, welche mit mehreren radialen Aussparungen versehen das vom Sperrmagneten betätigte Sperrpendel einrasten liessen.

Die Schalterachsen trugen eine Vielzahl von Kontaktsegmenten, welche drehwinkelabhängig geöffnet oder geschlossen waren. Die zugehörigen Schaltkreise wurden nach deren Teilfunktionen säuberlich getrennt in solche für die Sperren von Weichen-, Fahrstrassen- und Signalschaltern, für die Gleisfreimeldungen, die Weichenmotoren, die Lampen der Lichtsignale usw.

Verschiedene sicherungstechnische Anforderungen konnten erst beim elektrischen Schalterwerk verwirklicht werden. Für die Überwachung des freien Gleiszustandes konnten jetzt elektrische Gleisstromkreise eingesetzt werden, mit deren Hilfe die Züge auto-

matisch die Signale auf Halt schalten und die Fahrstrassen auflösen.

Als Fahrstrasse wird der aus mehreren Weichen in bestimmten Lagen gebildete zusammenhängende Weg zwischen Start- und Zielsignal bzw. Streckengleis bezeichnet. Mehrere Fahrstrassen können das gleiche Startsignal besitzen. In einer Fahrstrasse werden die zugehörigen befahrenen und schutzbietenden Weichen verschlossen. Mit dem Auf-Fahrt-Stellen des Startsignals wird die Fahrstrasse festgelegt und durch die Wirkung des Zuges anschliessend aufgelöst.

Das elektrische Schalterwerk schützt den Bediener vollständiger gegen Fehlhandlungen als ein mechanisches Stellwerk. Es besitzt bereits typisierte Bedienungsorgane. Es kommen ausgeklügelte Mechanismen zur Anwendung, an welche wiederum hohe Anforderungen betreffend Toleranzen und Spielfreiheit gestellt werden müssen, hier nun auch an den ganzen Kontaktsatz eines Schalters. Neue Forderungen sind die Isolationsgüte von Kontaktträgern und Drahtummantelungen sowie die elektrische Spannungsfestigkeit.

Die Schaltkreise werden nach einheitlichen Grundsaltungen entworfen. Jede Anlage muss aber dem Gleis- und Signalplan entsprechend bearbeitet werden. Wiederum enthält eine Verschluss-tabelle die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Weichen, Fahrstrassen und Signalen. Jetzt sorgen aber elektrische Öffnerkontakte für die Unterbrechung der auszu-schliessenden Stromkreise.

2.4 Tastenstellwerke mit elektrischen Verschlüssen

Beim elektrischen Schalterwerk lag also die Sicherheit bereits bei der Verlässlichkeit der elektrischen Verschlüsse. Es wurden vorwiegend Kontakte von Drehschaltern verwendet, bei welchen es auf das genaue Einhalten der Schliess- und Öffnungswinkel ankam. Nach und nach hielt der Magnetschalter mit zwangsgeführten Kontakten (Sicherheitsrelais) im Schalterwerk Einzug. Für die Fahrstrassenwahl wurden den Gleisen zugeordnete Tasten eingesetzt und damit Schalter eingespart.

Mit dem Verzicht auf die fühlbaren Sperren war das Drucktastenstellwerk eigentlich schon geboren. Seine vollendetste Form erreicht es mit dem Spurplanstellwerk. Dessen Merkmale sind

- Zusammenfassung der Sicherheitsrelais in normierten Baugruppen für Weichen, Rangier- und Hauptsignale,
- Verbindung der Relaisgruppen untereinander über normierte Kabel in Übereinstimmung mit dem Gleisplan (sog. Spurkabel),
- Befehlseingabe mittels Signaltasten im schematischen Gleisplan des Bedienpultes,
- Zustandsanzeigen (Weichenlagen, Fahrstrassen, Signale usw.) in Leuchtfenstern desselben Pultes,
- Eignung für Automatisierung und Fernsteuerung.

Für grosse Stellwerkanlagen mit mehreren Bedienplätzen (zur Beherrschung der betrieblichen Flutstunden) musste eine überall einsetzbare Tastatur gefunden werden. Bei andern Bahnen hatte sich die Zehnertastatur - wie heute im Telefon eingebaut - durchgesetzt. Die SBB verwendeten diese nur in Rangierbahnhöfen, haben dort aber auch gelernt, die Prozessrechner der Ablaufstellwerke mit Hilfe codierter Befehle über Schreibmaschinentastaturen zu bedienen.

1979 wurde die erste *codierte Bedienung* für das Fernsteuerzentrum Zürich-Oerlikon und einige zugehörige Stellwerke eingeführt. Drei Arbeitsplätze sind mit je einer Schreibmaschinentastatur ausgerüstet. Mit Hilfe zweier zwischengeschalteter Kleinrechner kann an jeder Tastatur der ganze Einflussbereich des Zentrums oder auch nur ein Teil davon bedient werden.

Die zwangsgeführten Kontakte des Sicherheitsrelais bieten Gewähr dafür, dass im stromlosen, abgefallenen Zustand alle Ruhekontakte (Öffner) geschlossen und alle Arbeitskontakte (Schliesser) unterbrochen sind. Im stromdurchflossenen, angezogenen Zustand ist es umgekehrt. Ein beliebiger Öffner oder Schliesser kann als Prüfkontakt für die übrigen der gleichen Sorte verwendet werden. In den Schaltkreisen wird von diesen Prüfkontakten vielfältiger Gebrauch gemacht.

Von der Befehlsgebung mit einer sinnvollen Kombination einer Start- und einer Zieltaste bis zur Fahrtstellung des Startsignals müssen nacheinander mehrere Schaltkreise (Spuren genannt) durchlaufen werden, wobei Arbeits- und Prüffunktionen stets abwechseln:

- automatische Fahrwegsuche und Weichenansteuerung,
- Überprüfung der Weichenendlagen und des freien Gleiszustandes (Zugfahrstrassen),

- Anschaltung der Schutzweichen,
- Verschliessen der beanspruchten Weichen und Prüfen der Verschlüsse,
- Festlegen der Weichenverschlüsse und Prüfen dieser Funktion,
- Anschalten des richtigen Fahrbegriffes am Startsignal.

Dank dem modularen Aufbau sind beim Spurplanstellwerk die Projektierungs-, Montage- und Prüfarbeiten gegenüber früheren elektrischen Stellwerken stark vereinfacht worden. Für die sicherheitstechnische Prüfung der Relaisgruppen und der Spurkabel werden Automaten eingesetzt. Die Prüfung des Vergleichs zwischen Schaltungsentwürfen und ausgeführter Anlage beschränkt sich im wesentlichen auf die sog. freie Schaltung, welche in Sonderfällen als Ergänzung der satzgebundenen Schaltungen nötig ist.

Die sicherheitstechnischen Abhängigkeiten sind in sog. Flankenschutztabellen festgehalten, welche von der Weiche als Fahrstrassenelement ausgehen. Die Schlussprüfung des Spurplanstellwerkes bezieht sich deshalb vorab auf den Nachweis der Ausschlüsse zwischen den kürzest möglichen Fahrstrassen.

3. Pflichtenheft für Rechnerstellwerke

Mit der Einführung der nächsten Stellwerkgeneration soll der bei den Spurplanstellwerken erreichte Stand im wesentlichen erhalten bleiben hinsichtlich:

- Sicherheit und Verfügbarkeit,
- Bedienung und Anzeige sowie
- Prüfbarkeit.

Eine Verbesserung der Fehleranzeigen und der Wartungshilfen wird dagegen bei der Verwendung elektronischer Rechner verlangt.

Das Rechnerstellwerk soll dank einheitlicher Software für die stellwerktechnischen Grundbedingungen grösstmögliche Freizügigkeit im Einsatz gestatten. Es soll sich gleich gut für mittlere und grosse Bahnhöfe unter Einbezug von deren Nachbarstationen eignen wie für das Zusammenfassen einer ganzen Kette von kleinen Stationen von einem Bedienungszentrum aus. Es soll im weiteren einfache Schnittstellen zu bestehenden (elektronischen) Automatisierungsbausteinen wie Zugnummernmeldung, Zuglenkung und Zugabfahrtsanzeige haben.

Endlich soll das Rechnerstellwerk billiger zu stehen kommen als ein Spurplanstellwerk. Es soll auch eine Ausführungsvariante ohne Zwergsig-

nale vorgesehen werden. Beim Kostenvergleich muss mit kürzeren Abschreibungszeiträumen gerechnet werden als mit den bisher gültigen 40 Jahren. Als Kostenfaktoren sind Raumbedarf, Energiebedarf, Klimatisierung und Kabelbedarf mit einzubeziehen.

4. Rechnerstellwerke der SBB

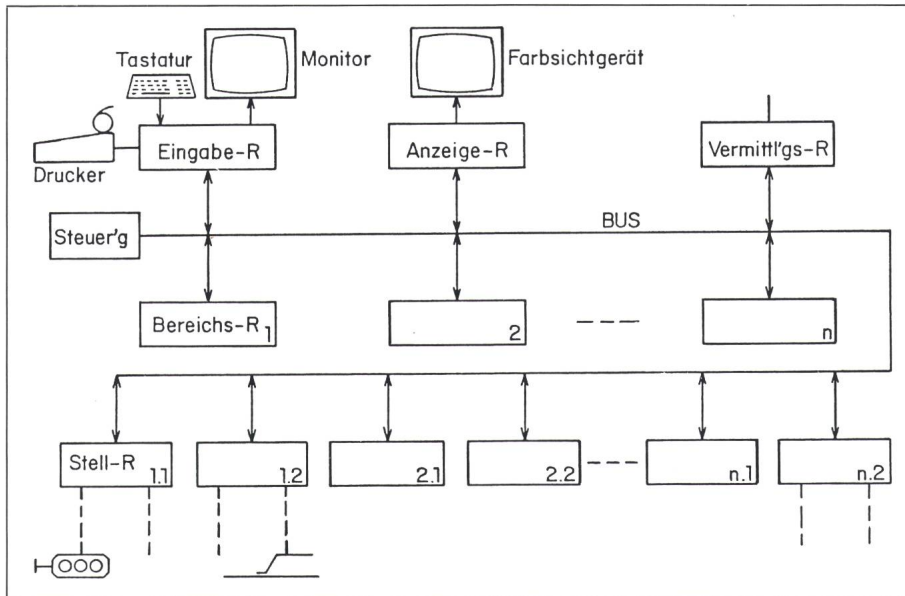
Das erste elektronische Stellwerk (Personenbahnhof Chiasso) wird von der Firma Siemens Eisenbahnsignalwerke, Braunschweig (BRD) geliefert. Die SBB haben Anfang 1985 einen Entwicklungsauftrag dafür erteilt. Siemens kann sich auf Erfahrungen mit den kurz vor der Auslieferung stehenden Anlagen der Deutschen Bundesbahn (Murnau) und der Holländischen Eisenbahnen (Hilversum) sowie zwei Erstauführungen (1982) berufen.

Die schweizerische Stellwerkunternehmung, Integra Signum Wallisellen, lief Gefahr, mit einer Eigenentwicklung zu sehr in Rückstand zu geraten. Aus verschiedenen möglichen Partnern wählte sie deshalb die auf dem Gebiet der Rechnerstellwerke seit 1978 führende schwedische Firma L.M. Ericsson als Lizenzgeber. Integra Signum wird für die SBB den Bahnhof Gossau als ersten mit ihrem Rechnerstellwerk ausrüsten.

4.1 Mehrfachsystem aus Doppelmikrorechnern

Siemens verwendet in Chiasso das System SIMIS, sicheres Mikrorechner-System, ein Mehrfachsystem aus Doppelmikrorechnern. Ein SIMIS-Baustein besteht aus zwei gleichen serienfertigen Mikrorechnern mit je einem einfachen Überwacherzusatz. Beide Rechner erhalten an ihren Eingängen gleiche Aufträge, verarbeiten genau gleiche Programme und müssen für gültige Ausgaben zu den gleichen Ergebnissen kommen. Um äussere Einflüsse, welche gleiches Fehlverhalten der Mikrorechner bewirken könnten, auszuschliessen, müssen eine Reihe von Randbedingungen (konstruktive und elektrische) genau eingehalten werden. Der Doppelrechner kann damit einen beliebigen ersten Fehler in der Hardware in einem der Mikrorechner entdecken. Die Ungleichheit der Ergebnisse führt zur Abschaltung.

In den Arbeitspausen des Rechners läuft ein Prüfprogramm, das innert 30



Figur 1 Blockschema des Stellwerkes mit Doppelmikrorechnern
 Jedes mit R bezeichnete Rechteck stellt eine SIMIS-Einheit des Multimikrorechnersystems dar

min alle Speicherplätze auf richtiges Ein- und Auslesen sowie alle Zentralprozessor- und Eingabe-/Ausgabefunktionen überwacht. Auch die Antworten des Prüfprogrammes müssen in beiden Rechnerteilen gleich sein.

Die Doppelrechnergruppen des Mehrfachsystems erfüllen verschiedene Aufgaben und arbeiten über einen hochfrequenten Doppel-Datenbus zusammen. Die Adress- und Datentelegramme auf diesem Bussystem müssen gegen Übertragungsfehler gesichert werden: Auf beiden Bussystemen wird parallel übertragen; jeder Doppelrechner prüft die beiden ankommenden Telegramme auf gleichen Inhalt. Ist ein Bussystem gestört, so werden auf dem noch tauglichen die beiden Telegramme nacheinander invers übertragen und wieder auf gleichen Inhalt geprüft. Diese Übertragungsart wird im Störfall während einiger Stunden zugelassen.

Den verschiedenen Doppelrechner-typen sind folgende Aufgaben zuge-teilt (Fig. 1):

- Eingaben und Kontrollen. Verwaltung der Anlagedaten (Eingaberechner),
- bereichsweise Bearbeitung der sicherungstechnischen Abhängigkeiten zwischen den Anlageelementen, wie Weichen, Gleisstromkreisen, Signalen und dem Streckenblock (Bereichsrechner),
- Ansteuerung und zyklische Überwachung der Elemente der Aussenanlage (Stellrechner),
- Anzeige des Anlagenzustandes auf Farbsichtgeräten oder auf einer Meldetafel (Anzeigerechner).

Die Grenzen der Anlagenbereiche werden unter Beachtung einer grösstmöglichen Systemverfügbarkeit gezogen. Die Grösse eines Bereiches ist auf das Arbeitsvermögen eines Bereichsrechners abgestimmt. Im Mittel werden einem Bereichsrechner zwei Stellrechner zugeteilt.

Für eine Anzahl von Bereichsrechnern steht ein Reserverechner zur Verfügung, der im Störfall für den «kranken» einspringt. Er wird innert 10 s automatisch aufgerüstet. Der Eingaberechner wird besonders bei mehreren Arbeitsplätzen (d.h. in grossen Bahnhöfen) verdoppelt.

Das hochfrequente Bussystem der vorzugsweise im Bedienungszentrum unterzubringenden Einheiten des Rechnerstellwerkes, wie Eingabe-, Anzeige- und Bereichsrechner sowie Stellrechner der angrenzenden Bezirke arbeitet über mehradrige geschirmte Kabel. Mit Hilfe von Umsetzern lässt sich das Bussystem über Lichtwellenleiter zur Überbrückung grosser Abstände verlängern. Am fernen Ende können Stellrechner von entlegenen Bahnhöfen oder Nachbarstationen angeschlossen werden.

Für die Steuerung und Überwachung der Lichthaupt- und Vorsignale ist ein Lichtwellenleiter-Stellteil vorhanden. Für die Weichen und Zwergsignale gibt es gegenüber der Spurplantechnik vereinfachte Relaisgruppen. Die Kontakte der Gleisfreimelde-relais und die Steuerung des Streckenblocks werden unmittelbar an einen Stellrechner angeschlossen.

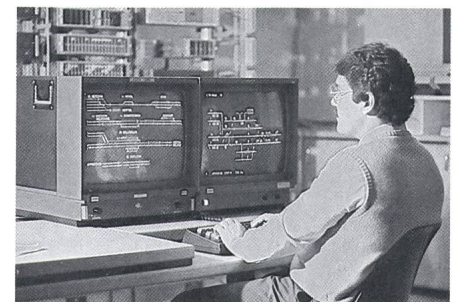
4.2 Kleinrechner mit Doppelprogrammen

Die zu Beginn erwähnte doppelte Programmierung wurde von L.M. Ericsson schon 1978 für die Stellwerk-anlage Göteborg angewendet. Integra Signum wird ihr erstes Rechnerstellwerk nach diesem Prinzip bauen. Sie wird aber auch eine eigene Entwicklung zur Anwendung bringen, nämlich das Farbsichtgerät, das die SBB als Versuchsausführung für die Fernsteuerung der Station Walchwil von Arth-Goldau aus in Auftrag gegeben hatten. Damit können die codierte Bedienung und eine Meldetafel ersetzt werden.

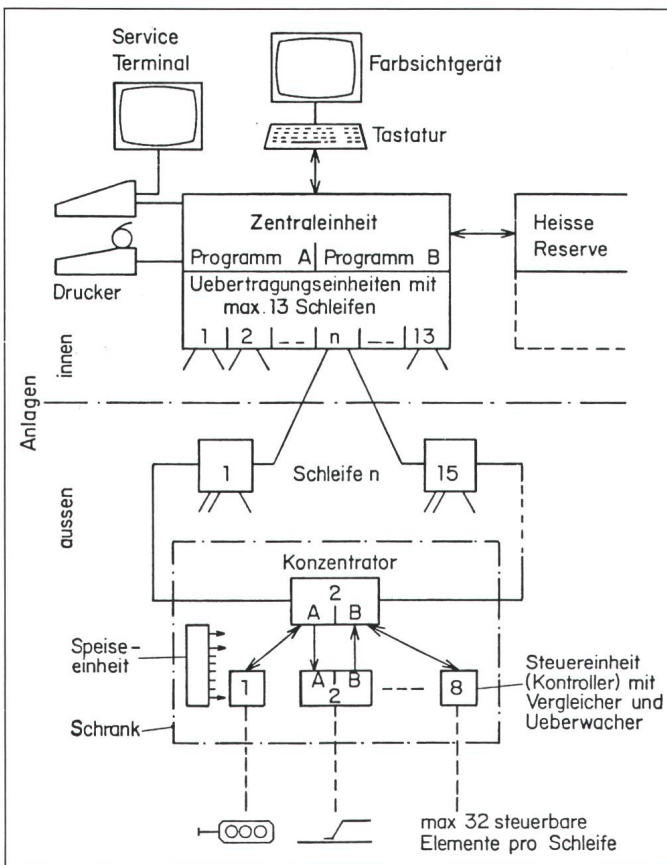
Auf einem Bildschirm kann jeweils das Gleisbild einer Station oder eine Streckenübersicht dargestellt werden. Verschiedene Farben werden z. B. zur Unterscheidung des freien oder belegten Zustandes eines Gleises, zwischen Fahrterlaubnis oder Haltstellung an Signalen und zur Anzeige einer eingestellten Fahrstrasse verwendet. Dank einer zweikanaligen Aufbereitung des Bildinhaltes ist Verlass auf die Richtigkeit der Anzeigen (Fig. 2).

Dies ist besonders für den Fall einer teilgestörten örtlichen Stellwerk-anlage wichtig, wenn z. B. an Stelle eines Hauptsignals das Hilfssignal auf Fahrt gestellt werden muss. Das Farbsichtgerätesystem verarbeitet auch diesen kritischen Befehl mit Sicherheit richtig.

Die Kommandos des Farbsichtgerät-Bedienplatzes werden von einem Kleinrechner (ERILOCK 850) in Stellbefehle für Weichen und Signale umgesetzt. Die stellwerktechnischen Bedingungen jeder Elementgruppe (Weichen, Signale) sind gemeinsam in einer alle Möglichkeiten umfassenden Form in unzerstörbaren Speicherbereichen hinterlegt. Die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Anlageelementen (Geografie) sind als fe-



Figur 2 Bedienplatz mit Farbsichtgeräten
 Übersichtsbild links, Lupe rechts



Figur 3
Blockschema des
Stellwerkes mit
Kleinrechner und
Doppelprogrammen
 ERILOCK 850 mit
 Konzentratoren und
 Farbsichtgerät Integra
 Signum

ste Daten in andern Bereichen unverlierbar gespeichert. (Fig. 3).

Programme und Daten sind je in einer A- und einer B-Version vorhanden, deren Codierung aufs sorgfältigste immer durch zwei getrennt arbeitende Personengruppen, die unterschiedliche Regeln anwenden müssen, erstellt wird.

Jedem Element der Aussenanlage ist ein eigenes elektronisches Stellglied (object controller) zugeordnet. Weichen und Signale sind in Gruppen von höchstens acht Elementen zusammengefasst. Ihre Stellglieder werden mit Hilfe eines Mikrorechners, des Konzentrators, welcher zusammen mit benachbarten Konzentratoren in ein vierdrähtiges Übertragungssystem eingeschleift ist, mit Ein- und Ausgangssteuerungen des Kleinrechners verbunden.

Auf dem Übertragungssystem laufen adressierte Telegramme in A- und B-Form, welche von den Stellgliedern auf gleichen Inhalt geprüft werden. Sie können einmalige Kommandos (Weichenumstellung) oder zyklische Befehle (Signalfahrtstellung) enthalten. Aus dem jeweiligen Zustand des Elementes (Weichenlage, Signalstellung) wird ein Antworttelegramm, wiederum in A- und B-Form, gebildet und zyklisch

zum Rechner zurück übertragen. Er verwaltet diese Informationen als veränderliche Daten in einem weiteren A- und B-Speicher-Bereich. Aus den festen und den veränderlichen Daten werden laufend die Anzeigen für die Farbsichtgeräte aufbereitet.

Der zentrale Kleinrechner kann zur Erhöhung der Systemverfügbarkeit verdoppelt werden. Einer arbeitet dabei als heisse Reserve und wird vom arbeitenden Rechner ständig aufdatiert. Findet eine Umschaltung statt, so werden zur Sicherheit alle veränderlichen Daten neu abgefragt. In betrieblich besonders wichtigen Anlagebereichen kann der Konzentrator-Mikrorechner zur Erhöhung der Verfügbarkeit verdoppelt werden.

4.3 Erfüllung des Pflichtenheftes

Sicherheit und Verfügbarkeit sind zwei recht widersprüchliche Begriffe. Beide Rechnerstellwerke zeigen deutlich, dass dabei Kompromisse eingegangen werden müssen. Der SIMIS-Baustein verhält sich zwar in allen erdenklichen Störfällen durch Abschaltung zur sicheren Seite hin. Die erreichbare Verfügbarkeit wird durch die doppelte Ausfallrate eines einzel-

nen Mikrorechners bestimmt. Für die Verdoppelung der Rechnerbausteine muss zusätzlicher Aufwand getrieben werden. Beim Bereichsrechner betrifft es das Aufrüsten des Reserverechners. Zwei Stellrechner müssten sich für eine erhöhte Verfügbarkeit gegenseitig beim Steuern und Überwachen von Elementen der Aussenanlage durch eine geeignete Umschaltung der äusseren Schnittstellen ersetzen können.

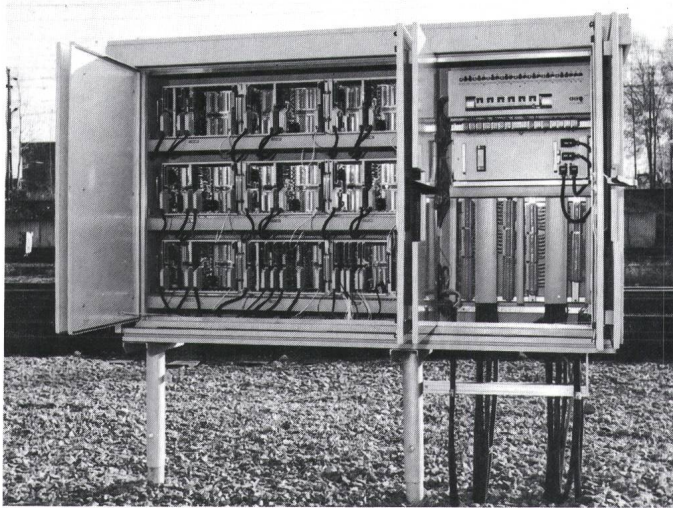
Im Falle der schwedischen Lösung muss der ganze zentrale Stellwerkrechner verdoppelt werden. Um die hohe Verfügbarkeit des Systems zu erreichen, braucht es eine wohldurchdachte programmtechnische Organisation, damit nach dem Umschalten sicher mit den neuesten Daten gerechnet wird.

Bei beiden Lösungen kommt das vorgeschriebene sichere Farbsichtgerätesystem für Bedienung und Anzeige zur Anwendung. Für den Personbahnhof Chiasso musste als Sonderausführung eine grosse Meldetafel wie bisher üblich für die Anzeige vorgesehen werden.

Der Aufwand für die Schlussprüfung eines Stellwerkes, das die Gleisanlage betrieblich voll nutzt, hält sich nur bei Anwendung des Spurplanprinzips in vertretbaren Grenzen. Beide Rechnerstellwerke entsprechen in ihrer Programmstruktur dem Spurplanprinzip des Drucktastenstellwerkes. Beide Firmen bieten Lösungen zur Erleichterung der Prüfaufgabe an. Ericsson stellt Programmsysteme zur Verfügung, welche den zweiten Zentralrechner als Nachbildung (Simulator) für die betrieblichen Vorgänge auf einer Gleisanlage bzw. zur Prüfung der Elemente der Aussenanlage selbst zu verwenden gestattet. Auch Siemens hat Hilfsgeräte, z.B. für die Prüfung des Lichtwellenleiter-Stellteils für die Signale entwickelt. Neben den Fehleranzeigen an den Baugruppen stehen für beide Systeme besondere Prüfeinrichtungen für die Fehlersuche an den Elektronikplatten zur Verfügung.

Der freizügige Einsatz beider Rechnerstellwerke ist gewährleistet. Die Vorteile der neuen Technik müssen mit einer Gewöhnung an die Dezentralisierung der Elementsteuerungen erkaufte werden. Diese kann aber auch, wie gefordert, auf weit entfernte Anlagenteile oder Nachbarstationen mit wesentlichen Vereinfachungen gegenüber heutigen Lösungen ausgedehnt werden.

Bei der Anwendung der Rechner-technik wird allgemein eine grosse



Figur 4
Konzentratorschrank
mit acht Steuer-
einheiten (Kontroller)
und einer
Speiseeinheit

Aufnahme in einem
 schwedischen Bahnhof

Raumersparnis erwartet. Gegenüber kommerziellen Rechneranlagen muss jedoch bedeutend mehr für Sicherheit und hohe Verfügbarkeit aufgewendet werden. Im Vergleich zu den Spurplan-Relaisstellwerken kann immerhin mit einer Platzersparnis von etwa 20% gerechnet werden. Bei der Unterbringung der dezentralen Steuerungen können verschiedene Wege beschritten werden. In Schweden sind metallene Elektronikschränke im Freien üblich. Die SBB werden für ihre ersten Rechnerstellwerke jeweils einige wenige Aussenstellen aufbauen, die dem Unterhaltungspersonal etwas Bewegungsfreiheit in geschützter Umgebung bieten (Fig 4).

Der Energiebedarf wird durch die auf niedrigem Energieniveau arbeitenden elektronischen Steuerungen günstig beeinflusst. Es muss aber an die gegenüber der Relaisstechnik gewaltig vermehrte Zahl der Schaltelemente gedacht werden. Mit der Dezentralisierung in der Aussenanlage nimmt die Ausdehnung der auf hohem Energieniveau arbeitenden Elemente ab. Damit sinken die Verluste in den Stellwerkabeln, heute ein ganz beachtlicher Anteil des gesamten Energiebedarfes.

Die Notwendigkeit einer erzwungenen Kühlung hängt bei der Rechnerstechnik letztlich von der gewählten Packungsdichte der Baugruppen ab. Es wird mit Vorteil etwas mehr Raum beansprucht, damit natürliche Zugluftkühlung wirken kann, als dass kleine Lüfter oder gar Klimageräte eingesetzt werden müssten. Künstliche Lüftung beansprucht Platz und ist kostspielig. Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems wird vom Ausfallverhalten der Klimaanlage nachteilig beeinflusst.

Durch die Anwendung nachrichtentechnischer Übertragungsmittel zwischen dem zentralen Teil des Rechnerstellwerkes und den Aussenstellen kann ganz erheblich an Kupfer gespart werden. Bei grossen Anlagen kann wegen der wesentlich dünneren Kabelbündel, welche über mehrere hundert Meter geführt werden müssen, ein vereinfachter Kabelschutz angewendet werden. Sicher kann auf begehbare Kabelkanäle verzichtet werden.

Bei weiträumigen Anlagen wird sich der Wegfall von Block- und Fernsteuerapparaturen entscheidend kostenmindernd auswirken. Schnittstellen zu den in Rechnerstechnik ausgeführten Automatisierungsbausteinen werden grundsätzlich seriell sein und damit billiger zu stehen kommen. Weiträumig eingesetzte Rechnerstellwerke werden bestimmt, auch unter Einbezug von Kapital- und Unterhaltskosten, Kosteneinsparungen bringen.

Bei der Preisentwicklung zeichnet sich eine Verteuerung der Relaisstechnik und eine Verbilligung der Elektronik ab. Es wird entscheidend sein, dass für die Bereitstellung der Software rechnergerechte Stammdaten rechnergestützt zu Programmen verarbeitet werden können.

5. Prüfung und Einführung

5.1 Sicherheitsnachweise für Hardware

Sicherheitsnachweise sind für jene Teile der Hardware zu führen, welche z. B. als Vergleicher arbeiten. Vergleicher müssen aus einfachen elektronischen Bauteilen zusammengesetzt sein, damit von gesicherten Annah-

men über das Ausfallverhalten ausgegangen werden kann. Oft werden in diesen Vergleichen auch Sicherheitsrelais eingesetzt, deren Verlässlichkeit bekannt ist. Jeder SIMIS-Baustein ist am Ausgang mit zwei Sicherheitsrelais bestückt.

Relaisstellteile werden wie bisher behandelt.

Der Sicherheitsnachweis kann bei dynamischen Schaltkreisen darin bestehen zu zeigen, dass die erwartete Funktion nur mit heilen Schaltelementen möglich ist. Als modernes Beispiel darf hier das elektronische Weichenstellteil der L.M. Ericsson aufgeführt werden. Der für den Lauf des Asynchronmotors nötige dreiphasige Wechselstrom wird über getaktete Transistoren aus einer Gleichspannung erzeugt.

5.2 Sicherheitsnachweise für Software

Eine mehrstufige Methode wird für die Erstellung der Software als selbstverständlich vorausgesetzt. Die verbale Aufgabenstellung muss analysiert und in eine schematisch verarbeitbare Form (Flussdiagramm, Struktogramm oder Schaltalgebra) umgesetzt werden. Daraus kann dann die rechnernahe codierte Form (Assembler) abgeleitet werden.

Heute wird eine Anzahl Regeln, welche für die Erstellung von Sicherheitssoftware tunlichst einzuhalten sind, allgemein anerkannt:

- modulare, strukturierte Programme beschränkter Länge,
- Anwendung der Elementarblöcke mit je einem Ein- und Ausgang,
- verbale Erläuterungen,
- Codierung in Assembler und bestimmten Makrostrukturen.

Diese Software muss einfach lesbar sein, damit sich ein Dritter leicht einarbeiten kann. Denn eine der unumgänglichen Prüfungen ist der Schreibtischtest, bei welchem der möglichst unbefangene Dritte die Codierarbeit gedanklich nachvollzieht. Als Hilfsmittel steht unter anderem die Rückübersetzung eines Assemblerprogrammes in das Struktogramm auf einem Rechner zur Verfügung.

Höhere Programmiersprachen werden bis heute als für Sicherheitssoftware ungeeignet betrachtet, weil sie eines Übersetzers (compiler) bedürfen, dessen Fehlerfreiheit schwierig nachzuweisen ist. Die Schwedischen Staats-

bahnen (SJ) haben allerdings entgegen dieser Auffassung eine eigene Programmiersprache für das Rechnerstellwerk, eine *Sternol* genannte Schaltalgebra entwickelt, welche sich rechnergestützt in den Maschinencode und zwar gleich in A- und B-Version umsetzen lässt. Ebenfalls im schwedischen System werden die Anlagedaten einem Hilfsrechner im Dialogverfahren eingegeben, der daraus eine A- und B-Liste generiert.

Die Forderung der Fehlerfreiheit der Software wird beim Rechnerstellwerk mit doppelter Programmierung derart gelockert, dass eine, zwar unbekannte, kleine Restfehlerwahrscheinlichkeit der beiden Programme (A und B) zugelassen wird. Die Sicherheit bleibt dabei gewahrt, weil die Wahrscheinlichkeit von Softwarefehlern mit gleicher Wirkung in beiden Programmen als vernachlässigbar klein beurteilt wird.

5.3 Funktionsprüfung der Prototypen

Nach der Prüfung der modular aufgebauten Programmsysteme muss abschliessend der Funktionsnachweis für das ganze Rechnerstellwerk erbracht

werden. Zu diesem Zweck wird je eine kleine Innenanlage zu einer erdachten Aussenanlage gebaut. Diese Prototypen enthalten alle wichtigen, vorkommenden Fälle von Weichenkonfigurationen und Signalanordnungen. Einige Elemente der Aussenanlage stehen in normaler Ausführung zur Verfügung, die übrigen werden nachgebildet.

Die sicherungstechnische Grundprüfung betrifft die schon beim Relais-Spurplanstellwerk eingeführte Flankenschutztafel. Für jedes Fahrstrassenelement (Weiche) muss die Erfüllung der Schutzbeziehungen lückenlos nachgewiesen werden. Ebenso bedarf die zugesteuerte Auflösung der verschlossenen Fahrstrassenelemente einer genauen Einzelprüfung der sequenziell zusammenarbeitenden Gleisstromrelais.

Aus der grossen Zahl von gleichzeitig möglichen und gegenseitig verhinderten Rangier- und Zufahrstrassen muss eine sinnvolle Auswahl getroffen werden. Mit dem Durchspielen vieler Kombinationen sollen allfällige Unregelmässigkeiten erkannt werden. Der Einsatz eines Simulators für das Einstellen der Fahrstrassen und das Nachbilden der fahrenden Züge soll die Durchführung dieser Arbeiten innert nützlicher Frist ermöglichen.

Mit dem Abschluss dieser Gesamtprüfungen an den Rechnerstellwerk-Prototypen ist die betriebliche Zulassung nach Eisenbahnverordnung vollzogen. Diese Typenprüfung soll für das Siemens-Rechnerstellwerk als erstes gemäss Terminplan Mitte 1987 durchgeführt werden.

Literatur

- [1] *H.S. Andersson et G. Hagelin*: Système d'enclenchement commandé par ordinateur. *Ericsson Review* 58(1981)2, p. 74...80.
- [2] *E.T. Palm*: Stellwerke der Schweizer Bahnen gestern und heute. Zürich, Orell Füssli, 1982.
- [3] *K.-H. Suwe*: Prüfung von Software mit Sicherheitsfunktionen. *Signal und Draht* 75(1983)1/2, S 3...11.
- [4] *P. Middeldraad and A. Zillmer*: Microcomputer-based interlocking Hilversum. Technical Meeting of the Institution of Railway Signal Engineers (IRSE), Utrecht, February 21...22, 1986. Utrecht, Nederlande Spoorwegen/Braunschweig, Siemens AG, Bereich Eisenbahnsignaltechnik, 1986.