

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 60 (1969)
Heft: 5

Artikel: Die Sicherheit in Stellwerkanlagen
Autor: Oehler, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916129>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Die Sicherheit in Stellwerkenanlagen ¹⁾

Von K. Oehler, Zürich
2528 - 2535

656.257

1. Einleitung

Die Eisenbahn ist ein Massentransportmittel, bei welchem sich in einem vollbesetzten Zug z. B. 1000 Menschen befinden können. Schon diese einzige Zahl zeigt, dass bei der Wahl der Betriebseinrichtungen höchste Anforderungen gelten müssen, um die Sicherheit der Fahrt zu gewährleisten. Setzt man noch eine Streckenbelastung von 100 oder mehr derartigen Zügen (Gotthard) nebst einer ähnlichen Anzahl von Güterzügen voraus, so wird klar, welchen Grad von Verantwortung es bedeutet, diese 100 000 Menschen an einem einzigen Tag über bedeutende Strecken zu transportieren.

Die Stellwerkenanlagen, die diese Betriebssicherheit gewährleisten sollen, sind jedoch nicht nur «Sicherheitseinrichtungen», wie sie richtigerweise benannt werden, sondern sie sind Betriebsmittel, die die Leistungsfähigkeit der Bahn zu verbessern vermögen. In vielen Fällen kann die erforderliche Leistungsfähigkeit einer Strecke erst mittels moderner Sicherheitseinrichtungen erreicht werden.

Ein Vergleich einer Anlage ohne Stellwerk mit einer Anlage, die mit einem mechanischen Stellwerkapparat ausgerüstet ist, zeigt deutlich, dass die Arbeit am Stellwerk des für die Zugbewegungen verantwortlichen Beamten nicht kleiner, sondern grösser ist als ohne Stellwerk. Durch die Zusammenfassung der Stellorgane der Weichen und Signale wird die Bedienung vereinfacht, aber die ohne Stellwerk von mehreren örtlich tätigen Wärtern geleistete Arbeit ist nun auf eine Person vereinigt. Dem Beamten wird lediglich ein Teil seiner Verantwortung abgenommen. Im Gegensatz dazu nehmen die modernen elektrischen Apparate dem Beamten auch diese Arbeit ab, so weit, dass selbst Kreuzungsstellen an Einspurstrecken unbesetzt bleiben dürfen, und in anderen Stationen der Zug seinen Weg selbst anfordert, beispielsweise mit Hilfe der Zugnummer. In diesem Fall hat der Apparat jedoch sowohl die volle Verantwortung als auch die Arbeit des Beamten zu übernehmen. Man erwartet daher in jedem Fall, dass der Apparat in der Art und Weise, wie er dies tut, den Menschen übertrifft; er soll mehr als zuverlässig arbeiten. Man erwartet Sicherheit.

¹⁾ Geänderter Vortrag, gehalten in der Institution of Railway Signal Engineers in London am 14. Dezember 1967.

2. Definitionen

Man unterscheidet zwischen zwei Arten von Sicherheiten, eine äussere und eine innere, die dem Stellwerkapparat eigen sein müssen.

Die äussere Sicherheit betrifft das, was der Stellwerkapparat für den Beamten zu leisten hat, nämlich die Gewährleistung der Sicherheit der Bewegungen der Fahrzeuge gegenüber den Gefahren, die der Betrieb mit sich bringt.

Es handelt sich hier um die bekannten 5 Gefahren:

1. Die Gefahr der Weiche als bewegliches Element im Gleis;
2. Die Flankenfahrt, verursacht durch falsche Stellung einer Weiche im Nebengleis;
3. Die Fahrt in ein von Fahrzeugen besetztes Gleis;
4. Die Folgefahrt auf der Strecke;
5. Die Gegenfahrt auf der eingleisigen Strecke.














Die innere Sicherheit betrifft jedoch die Art und Weise, wie der Apparat diese Aufgabe erfüllt, d. h. die Qualität seiner Arbeit. Hier wird höchstmögliche Zuverlässigkeit, d. h. Sicherheit verlangt.

Der Ausdruck «Sicherheit» bedarf einer genaueren Definition im Zusammenhang mit dem Begriff «Zuverlässigkeit». Jeder Konstrukteur hat den Wunsch, seine Konstruktionen so zuverlässig wie möglich zu machen. Als Mass der «Zuverlässigkeit» verwendet er den reziproken Wert: die Wahrscheinlichkeit des Versagens. Es ist dies die Zahl der zu erwartenden Versager, in Relation gesetzt zur Zahl der Operationen, die von dem betrachteten Konstruktionselement auszuführen ist. Wenn z. B. bei einem Grossversuch von 100 Relais mit belasteten Kontakten nach 10^7 Operationen festgestellt wurde, dass weder die Relais noch ihre Kontakte eine die Funktionstüchtigkeit beeinträchtigende Änderung erlitten haben, kann die Fehlerwahrscheinlichkeit kleiner als 10^{-7} angesetzt werden. Solche Versuche berücksichtigen jedoch in den seltensten Fällen alle möglichen äusseren Einflüsse, die bei der praktischen Anwendung zur Geltung kommen können. Diese Einflüsse sind meist noch mit einem Zeitfaktor belastet. Hierzu gehören z. B. dauernde Erschütterungen, korrosive Atmosphäre, nicht kontrollierbare Überspannungen, z. B. herrührend von Funkenbildung an Kontakten, usw.

Versteckte Fabrikationsfehler, die sich erst im Laufe der Zeit bemerkbar machen, können eliminiert werden, wenn

Ablauf einer Weichenumstellung

Tabelle I

	Vorgang veranlasst durch:	Vorgang abhängig von der Bedingung, dass:	Prüfkontakte	Resultat des Vorganges
1	↑ STGT + ↑ WT	↑ Is ↓ AM ↑ EV ↓ WV		↑ SAL
2	↑ SAL	↓ SV ↑ R1 ↓ SAR		↑ S1  (ZR)
3	↑ S1			↓ S2 ↑ Ue
4	↓ S2	↑ S1		② ↑ AM
5	↑ AM	↑ S ↓ S2 ↑ SAL	↑ Ue	 ↑ (AM) ↑ L1
6	↑ L1 (↓ STGT + ↑ WT)*			↓ R1 Vorbereitung 1 → S 2 → R
7	↓ R1			↑ L2 ↑ L3 ↓ R2 ↓ R3
		↑ S1	↓ R2 ↓ R3	↑ ZR  6"
8	↑ ZR			↑ S
9	↑ S			1 → S 2 → R 3 + 4 → T ↑ AM nach 0,5"
10	 Start rechts - links			 m1
11	 m1			S  R Lauf T (↑ AM)
12	 m2 Stop		↑ AM	↑ S2 ↓ S1
13	↓ S1			↑ ZR
14	↓ ZR			↑ S
15	↑ S	↑ AM ↑ S1		↑ Ue
<p>* Nach Vorgang 5 können die Kommandotasten losgelassen werden: ↓ SAL Das nächste Kommando reversiert die Bewegung des Antriebes.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <p> Kontakt geschlossen Relais stromlos</p> <p> Kontakt offen Relais stromlos</p> </div> <div> <p> Kontakt geschlossen Relais erregt</p> <p> Kontakt offen Relais abgestützt</p> </div> <div> <p> Relaispulen eines Stützrelaispaares Relais links stützt Relais rechts</p> </div> </div>				

sämtliche Apparate, die aus der Fabrikation kommen, eine gewisse Zeit unter Vollast arbeiten, wodurch die fehlerhaften Stücke ausgeschieden werden. Diese Methode wird häufig für elektronische Elemente angewendet; aber auch so wird die Wahrscheinlichkeit für eintretendes Versagen nur kleiner, nicht aber gleich null.

Trotz dieser Unsicherheiten wird gelegentlich versucht, die minimale Zuverlässigkeit eines ganzen Systems aus der Zuverlässigkeit der Komponenten zu errechnen. Dabei bleibt aber unberücksichtigt, dass die Zuverlässigkeit elektrischer Verbindungsleitungen ebenfalls bewertet werden muss. Die zahlreichen Lötstellen, Steckkontakte, Verbindungsleitungen, Kabel usw. bilden ebenfalls Möglichkeiten für Fehler, die bewertet werden müssten.

Gerade bei der Beurteilung ganzer Systeme kann sich der Konstrukteur nur auf gemachte Erfahrungen und eventuell auf seine Phantasie stützen. Er wird versuchen, die Zuverlässigkeit seiner einzelnen Elemente dadurch zu vergrößern, dass er sie überdimensioniert, sie also nur mit einem Bruchteil der Nennlast ausnützt. Dies erhöht aber nur die Zuverlässigkeit dieser einzelnen Komponente, nicht die Sicherheit des ganzen Systems. Da die Fehlerwahrscheinlichkeit den Grenzwert Null nie erreicht, kann auf diese Weise «Sicherheit» nie erreicht werden.

Rechnungen mit Wahrscheinlichkeitsfaktoren haben bei Sicherungseinrichtungen auch aus einem anderen Grund nicht viel Sinn. Die Wahrscheinlichkeit sagt ja nur aus, dass durchschnittlich innerhalb einer bestimmten Zahl von Ope-

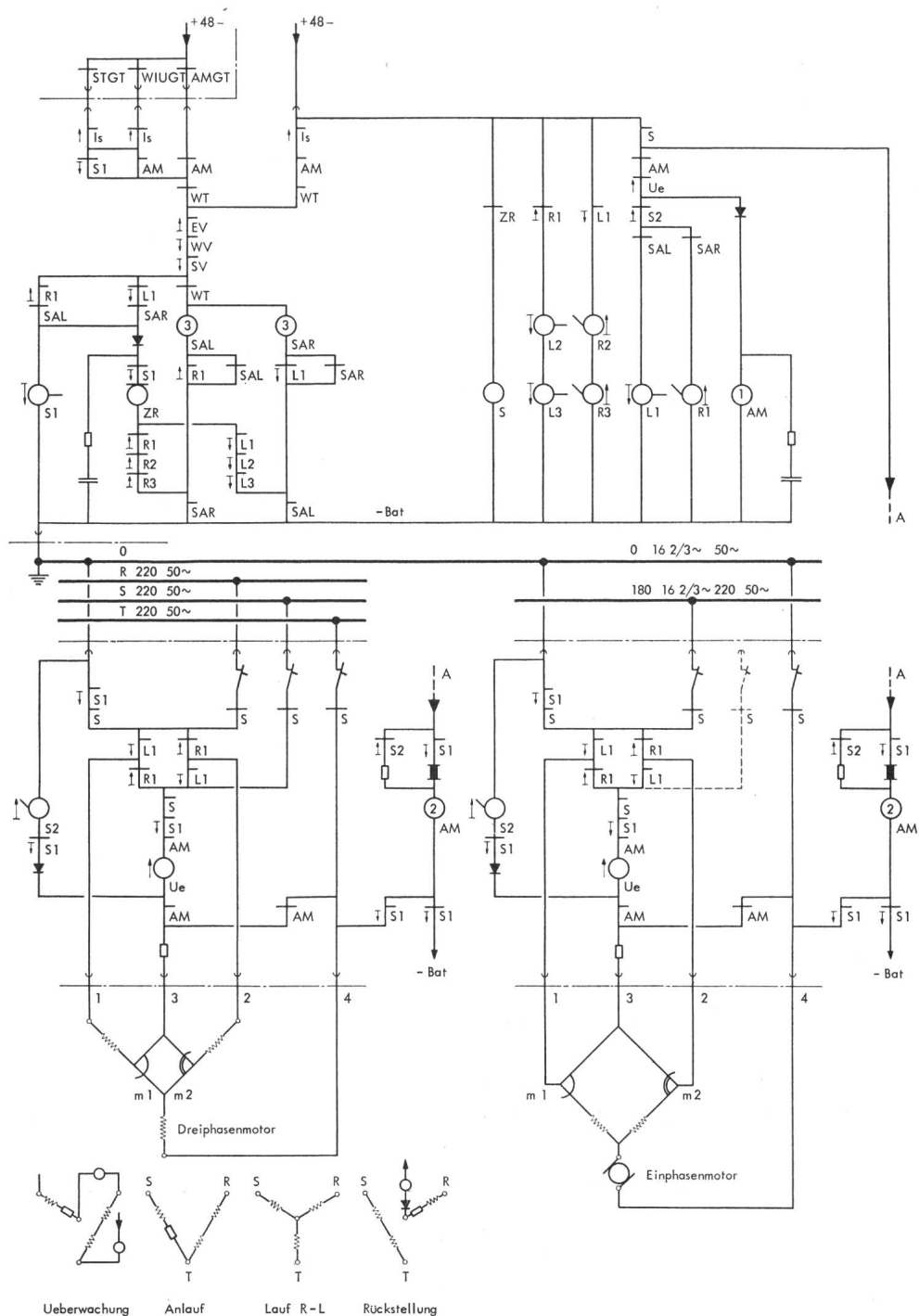


Fig. 1
Steuerschaltung eines Weichenantriebes

rationen ein Fehler eintreten wird. Sie sagt aber nicht aus, wann dieser Fehler eintreten wird. Da dies schon morgen oder vielleicht sogar heute mit katastrophalen Folgen sein kann, müssen noch andere Mittel angewendet werden. Dazu gehört beispielsweise ein sehr sorgfältiger und in kurzen Zeiträumen wiederholter Unterhalt mit genauer Kontrolle aller Teile, allerdings mit entsprechendem Aufwand.

3. In Sicherungsanlagen der Eisenbahn angewendete Methoden

Es gibt nun noch eine andere Möglichkeit, die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Die erwähnte äussere Sicherheit erreicht der Stellwerkapparat dadurch, dass er die Bewegungen der Fahrzeuge

durch Verbot oder Erlaubnis beeinflusst. Wenn es möglich ist, dafür zu sorgen, dass irgendwann eintretende Fehler im Apparat sich nur im Sinne des Verbotes, nie aber im Sinne der Erlaubnis auswirken können, wäre es möglich, auch die innere Sicherheit zu erreichen, obwohl die Möglichkeit, dass Fehler eintreten, akzeptiert wird. Es ist aber noch ein weiteres Erfordernis zu beachten. Jeder Fehler muss die Beachtung durch den Beamten erzwingen, indem eine Erlaubnis, die gegeben werden könnte, verhindert, d. h. verboten wird. Nur auf diese Weise ist zu erreichen, dass ein Fehler rasch behoben bzw. nicht unbeachtet stehen bleibt und so mit einem anderen, später eintretenden Fehler eine Kombination ergibt, die im Sinne der Unsicherheit wirkt, also etwas erlaubt, was verboten sein sollte. Die Voraussetzung, dass innerhalb der Zeit, in der eine solche Erlaubnis nur auf Ver-

antwortung des Beamten gegeben werden kann, kein weiterer Fehler eintritt, ist hier eine Konzession an die Wahrscheinlichkeit.

Diese Wahrscheinlichkeit ist jedoch um viele Zehnerpotenzen kleiner als die des Eintrittes eines einzelnen Fehlers, so dass trotz dieser kleinen Einschränkung von Sicherheit gesprochen werden darf. Auch kommt bei dieser Betrachtungsweise nur die Fehlerwahrscheinlichkeit an einer der vielen Komponenten in Frage, aus denen die Anlage aufgebaut ist, nicht aber die Fehlerwahrscheinlichkeit des ganzen Apparates, die sich aus der Kombination dieser Einzelwahrscheinlichkeiten zusammensetzen würde.

Es gibt leider kein einheitliches Rezept, um diese Methode durchzuführen; es lassen sich jedoch einige Leitgedanken aufstellen, von denen die wichtigsten in folgenden Punkten angeführt sind:

1. Die korrekte Beendigung jeder eingeleiteten Operation muss durch eine aktive Meldung bestätigt werden;
2. Jede Meldung, die eine Erlaubnis zur Folge haben könnte, muss die Form einer Aktion annehmen: Ein während der Dauer der Erlaubnis fließender Strom erregt z. B. ein Relais, oder ein vorübergehend fließender Strom führt ein Relais in die abgestützte Lage;
3. Verschiedene unabhängige Vorgänge können gleichzeitig ablaufen, wenn die Meldungen in Serie wirken;
4. Voneinander abhängige Vorgänge sind über in Serie geschaltete Meldungen wirksam. Das bedeutet, dass der Befehl für die Einleitung eines Vorganges identisch ist mit der Rückmeldung aller korrekt abgeschlossenen vorangehenden Vorgänge;
5. Dauermeldungen sind bei jedem Arbeitsvorgang zu unterbrechen. Durch diese Unterbrechung hat das Meldeorgan zu beweisen, dass es arbeitsfähig ist, d. h. dass die Meldung durch eine Aktion erfolgt;
6. Die endgültige Erlaubnis, dass ein Signal auf Fahrt gestellt werden darf, soll durch die Meldung von zwei an sich unabhängigen Vorgängen geschehen.

3.1 Beispiel

Es dürfte am einfachsten sein, diese Grundsätze an zwei besonders typischen Beispielen zu erläutern, wobei das Umsteuern einer Weiche und das Prüfen der Gleisrelais gewählt wurde (Fig. 1, Tabelle I).

Grundsätzlich geht es darum, eine Weiche von einer Endlage in die andere zu bringen, also um einen Reversierbetrieb. Zum Antrieb kann sowohl ein Drehstrommotor als auch ein Gleich- oder Einphasen-Wechselstrommotor dienen. Als weiteres Merkmal ist noch zu erwähnen, dass die Weiche «aufgeschnitten» werden kann; dies tritt ein, wenn ein Fahrzeug von der Zungenwurzel her in die falsch stehende Weiche einfährt. Die Weiche mitsamt dem Antrieb ist für diesen Fall gebaut, obwohl es sich um einen Betriebsunfall handelt. Es werden hierbei keine mechanischen Teile zerstört, aber der Aufschneidvorgang muss sich unverzüglich im Stellwerk bemerkbar machen, u. a. in dem Sinne, dass die Signale der betroffenen Fahrstrasse nicht mehr auf «Fahrt» gestellt werden können, oder wenn sie es bereits sind, sofort auf «Halt» wechseln. Es kann noch auf folgendes hingewiesen werden: Die Weichenantriebe sind so gebaut, dass auch bei einem Bruch in der Stellvorrichtung, wodurch z. B. die Weiche nicht vollständig umgelegt werden könnte, also nur einen Teil der Bewegung auszuführen in der Lage wäre, keine Fahrerlaubnis möglich ist, auch wenn die Weiche wieder in ihre Ausgangslage zurückgeholt werden könnte.

Um eine Weichensteuerschaltung aufzubauen sind nebst den Kontakten der Bedienungstasten bei einer bestimmten Bauform noch 10 Relais mit total 43 Kontakten, einschliesslich der Kontakte für den Motorenstrom, Widerstände, Verzögerungskondensatoren, Dioden und Sicherungen, nötig. Dazu kommen die Umschaltkontakte im Antrieb selbst, welche die Endlage des Antriebes anzeigen.

Zur Schaltung in Fig. 1 sei lediglich bemerkt, dass im unteren Teil beide Varianten, Drehstrom- und Einphasenmotor, nebeneinander dargestellt sind. Die Schaltung der Steuerung selbst bleibt von der Stromart unberührt. Die Schaltung zeigt den Antrieb in der Endlage «rechts»; das Überwachungsrelais *Ue* ist durch einen über alle vier Adern fließenden Gleichstrom erregt. Der mit der zweiten Spule dazu in Serie geschaltete Aufschneid-

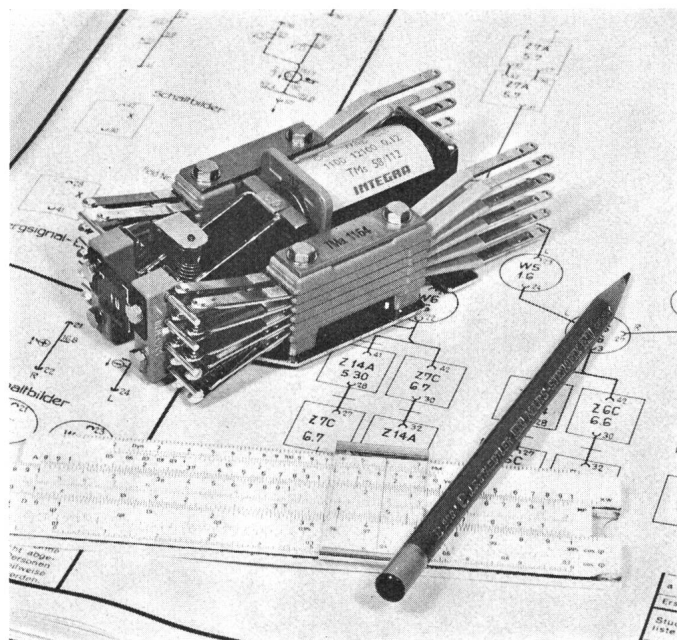


Fig. 2
Sicherheitsrelais mit 10 Kontakten

melder *AM* wird in der Endlage nur erregt, wenn bei einer Aufschneidung die Spule des Relais *Ue* durch Umschaltung des Motorkontaktes *m 1* überbrückt wird.

Beim Reversieren des Antriebes im Lauf wird der Stellstrom durch die Starkstromkontakte des Stellstromrelais *S* unterbrochen, bevor andere im Stellstromkreis liegende Kontakte sich bewegen; diese sind Kontakte normaler Bauart.

Tabelle I zeigt den Ablauf einer Weichenumstellung aus der Lage «rechts» nach «links» in 15 Vorgängen. Es ist bemerkenswert, dass die durch Kontakte erzwungene Reihenfolge der verschiedenen Vorgänge, die aus funktionstechnischen Gründen notwendig ist, nahezu alle Bewegungen automatisch auf ihre richtige Beendigung kontrolliert. Es sind von all den aufgezählten Kontakten nur deren vier vorhanden, die ausschliesslich der Prüfung dienen, die also funktionsmässig nicht notwendig wären.

Als weiteres interessantes Beispiel soll hier noch die Prüfung der Relais der Gleisstromkreise erwähnt werden. Entsprechend den bestehenden Vorschriften kann ein Blocksignal, das in der Haltstellung einen Zug deckt, nur dann wieder auf Fahrt gehen, wenn der Zug durch das nächste Signal gedeckt worden ist. Sollte das Gleisrelais des nächsten Abschnittes nicht abfallen, so würde das nächste Signal die Deckung des Zuges nicht übernehmen, indem es in der Fahrtstellung verbleibt. In diesem Fall darf das erste Signal nicht auf Fahrt gehen, obwohl der Abschnitt zwischen den zwei Signalen nun von Fahrzeugen frei geworden ist. Auf diese Weise wird erreicht, dass der Zug durch ein Haltsignal gedeckt bleibt und gleichzeitig der Fehler erkannt werden kann. Innerhalb von Stationen sind die Stromkreise für die Auflösung der Teilfahrstrassen durch den Zug so entworfen, dass sie ebenfalls die Möglichkeit der Prüfung für richtiges Arbeiten der Gleisrelais bieten.

4. Die Bauform der Relais

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Prüfung der Stellung der Relais nicht nur zur Kontrolle ihrer Arbeitsfähigkeit notwendig ist, sondern sie ist funktionsbedingt. Da jeweils mit einem Kontakt festzustellen ist, wie die anderen Kontakte stehen, muss das Relais zwangsläufig geführte Kontakte haben. Bei dem heute verwendeten Sicherheitsrelais wird ferner auf eine Lagerung des Ankers in Drehzapfen verzichtet; an deren Stelle ist ein Schneidenlager gewählt worden. Die Kontakte selbst sind als doppelt unterbrechende Kontakte ausgeführt, wobei sich lediglich die Kontaktbrücke bewegt, und diese mit dem Anker fest verbunden ist (Fig. 2). Diese Methode hat sich bestens bewährt, da der Kontaktabstand durch die doppelte Kontaktgebung verdoppelt und die Arbeitsgeschwindigkeit des Kontaktes ebenfalls

verzweifacht wird. Die Anordnung der Kontaktfeder relativ zur Bewegungsrichtung der Brücke ist so gewählt, dass im Nachlaufweg eine kleine Reibung von wenigen Zehntelmillimetern entsteht, die einerseits zur Reinigung der Kontakte, anderseits zur Dämpfung der Bewegung und damit zur Verhinderung des Prellens dient. Bei diesem Relais wird allerdings der Kontaktdruck von ca. 22 g pro Kontaktstelle nicht mehr durch das Gewicht in Ruhestellung, sondern durch eine Feder bewirkt. Diese Feder ist jedoch derart unterbelastet, dass ein Brechen derselben vollständig ausgeschlossen erscheint. Auch dann würde das verbleibende Gewicht genügen, mindestens die Schliesskontakte zu öffnen (Fig. 3).

4.1 Das Kontaktmaterial

Eine weitere und im Ausland viel erörterte Frage ist die der Verwendung des Kontaktmaterials Silber gegen Silber. Dieses Material hat sich als hervorragend geeignet erwiesen dort, wo sowohl mit ganz kleinen Spannungen als auch mit relativ grossen Strömen zu rechnen ist. Ferner ist der elektrische Widerstand des Kontaktes zwischen Silber und Silber ausserordentlich klein, was sich gerade bei dieser Schaltungstechnik, wo sehr viele Kontakte in Serie geschaltet werden müssen, günstig auswirkt. Schliesslich ist ja auch bekannt, dass die bei starker Beanspruchung eventuell entstehende Oxydschicht leitend ist, was ebenfalls die Zuverlässigkeit der Kontaktgabe günstig beeinflusst.

Selbstverständlich können Relaiskontakte auch verschweissen, und zwar nicht nur Silber gegen Silber, sondern auch Silber gegen Kohle. Die Umstände, unter denen dies geschehen kann, sind jedoch derart eng begrenzt und aussergewöhnlich, dass sie sich durch entsprechende Massnahmen leicht vermeiden lassen.

Zahlreiche Versuche mit Silber-Silber-Kontakten haben ergeben, dass hohe Stromspitzen, die beim Einschalten entstehen, beispielsweise bei der Ladung von Kondensatoren, zu einem Verschweissen führen können. Dementsprechend müssen Stromkreise, in denen Kondensatoren vorkommen, besonders beachtet werden. Durch Einbau relativ kleiner Schutzwiderstände in solche Stromkreise können die Bedingungen auf einfache Weise beseitigt werden, die zu einer Verschweissung führen können. Die Verwendung von Silber-Kohle-Kontakten bei Relais, die rasch arbeiten, wie dies beispielsweise bei den kleinen Sicherheitsrelais der heutigen Bauform der Fall ist, empfiehlt sich nicht wegen der grossen Abnutzung. Ein Versuch bei den Schweizerischen Bundesbahnen

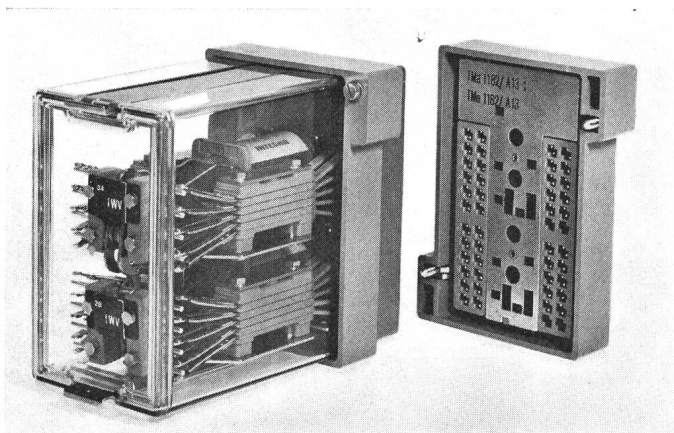


Fig. 3
Stützrelaispaar in steckbarer Kapselung

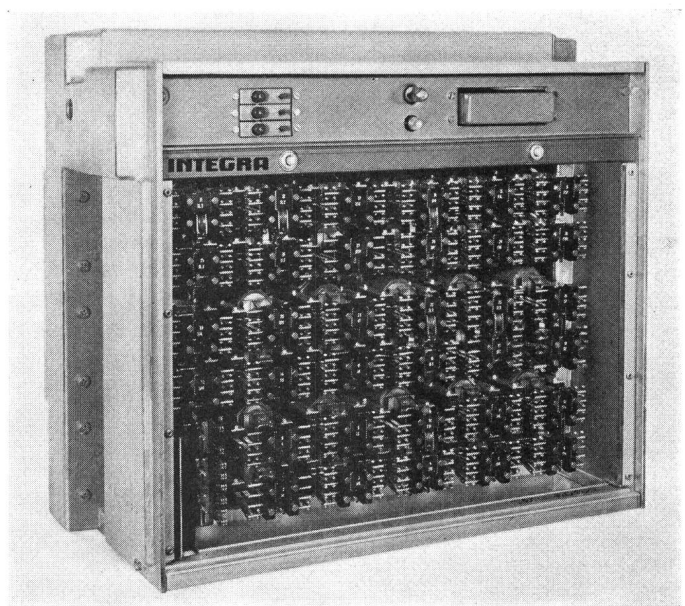


Fig. 4
Relaissatz für Weichensteuerung und Weichenverschluss

in dieser Richtung hat dazu geführt, dass auch bei Verwendung des kleinen Relais als Gleisrelais zugunsten von Silber-Silber-Kontakten entschieden wurde.

Müssen Stromkreise geschaltet werden, in denen Relais mit Verzögerungskondensatoren ausgerüstet sind, so wird diesen ein Widerstand von etwa 50 Ω vorgeschaltet, wenn der Kondensator kleiner ist als 500 μF , für grössere Kondensatoren-Batterien 100 Ω . Schweissversuche haben gezeigt, dass auch ohne einen solchen Schutzwiderstand ein Verschweissen der Kontakte ausserordentlich schwierig zu veranlassen ist. Es konnte jeweils nur ein kurzzeitiges Kleben erreicht werden. Somit ist die Anwendung dieser Vorschaltwiderstände auf jeden Fall weitaus genügend, um jedes Verschweissen zu verhindern, d. h. diese Kontakte sind als nicht verschweissbar zu betrachten ²⁾.

Es wäre ein Irrtum, aus dem Vorangehenden zu schliessen, dass in Anlagen, die mit Relais aufgebaut sind, diese Prüfung der Relais auf richtiges Arbeiten nur wegen der Relais selbst geschehe. Ein Relais, dessen Anker z. B. nicht abfällt, wenn er es tun sollte, bedeutet, dass in der Anlage ein Fehler vorliegt, nicht aber, dass das betreffende Relais selbst defekt ist, denn es gibt ausser Störungen an Relais selbst noch eine ganze Reihe anderer Fehlerursachen, die sich ebenso im Sinne der Sicherheit bemerkbar machen müssen. Es sei hier lediglich an die Möglichkeit des Fremdstromeintrittes, der Aderberührung, des Erdschlusses erinnert, die diesen Effekt verursachen können. Selbstverständlich leiden darunter in erster Linie Adern, die aus dem Haus ins Feld führen. Als

²⁾ Mit einem angenommenen Widerstand der Kontakte von 0,25 Ω kann gemäss Versuch eine Verschweissung der Kontakte auftreten, wenn $\int I^2 dt \geq 10$ ist. Die Steuer- und Überwachungsstromkreise sind mit Sicherungen von 4 A Durchschmelzstrom geschützt, was, wenn die Durchschmelzzeit $t < 10$ ms ist, einem Wert $I^2 t = 5$ entspricht. Somit wird die Sicherung durchbrennen, bevor der kritische Wert für die Kontakte erreicht ist.

Um das Durchschmelzen der Sicherung selbst in Stromkreisen, die Kondensatoren enthalten, sicher zu verhindern, wird bei einer Betriebsspannung von maximal 56 V und einem angenommenen Maximalwert von $\int I^2 dt = 1$ ein Schutzwiderstand notwendig, dessen Grösse

$$R_{\Omega} > 1,5 \cdot 10^{-3} C_{\mu\text{F}}$$

sein muss.

weitere Störungsmöglichkeit kommt Aderbruch hinzu, der Anlass gibt, die Leitungen auf diese verschiedenen Möglichkeiten zu prüfen.

5. Prüfung der Leitungen

Für die Prüfung von Leitungen bildet die schon angeführte Schaltung für die Steuerung von Weichen ein gutes Beispiel. Die 4 ins Feld führenden Adern sind so geschaltet, dass jeder der erwähnten Fehler, mit Ausnahme des Aderunterbruchs (gemeldet durch Relais *Ue*), in irgendeiner Kombination zu einem Kurzschluss führt und damit zwangsläufig in Erscheinung tritt, indem einer der in die Leitungen geschalteten Automaten in Aktion kommt. Erreicht wird dies dadurch, dass sowohl die Stromquelle für die Überwachungsspannung wie auch für den Stellstrom einseitig geerdet sind und wechselweise so auf die Adern angeschlossen werden, dass sie immer einmal im Zyklus der Operationen gegen Erde oder die Nachbarader Spannung aufweisen. Die Prüfung einer Schaltung im Laboratorium, ob dieses Postulat richtig verwirklicht ist, erfordert über 100 Kombinationen, die durchgeprüft werden müssen (Fig. 4).

Der Grundsatz, dass sich jeder Fehler in der Anlage dadurch zeigen muss, dass irgendeine Erlaubnis nicht mehr gegeben werden kann, die an sich gegeben werden könnte, setzt naturgemäss die Zuverlässigkeit der Anlage zugunsten der Sicherheit herab. Es müssen daher alle Anstrengungen gemacht werden, dass die einzelnen Apparate ein Höchstmass an Zuverlässigkeit aufweisen. Dementsprechend ist die Frage des Unterhaltes besonders wichtig.

Andererseits geht aus allen diesen Überlegungen hervor, dass an das Relais, als wichtigstem Bauelement und Indikator von Fehlern in der Anlage, höchste Anforderungen bezüglich Zuverlässigkeit gestellt werden müssen. Ein beliebiges, billiges Relais kann dieser Bedingung nicht entsprechen; das Relais muss speziell für diese Aufgabe entworfen und gebaut sein. Sein Preis soll aber den Fachmann beim Entwerfen von Schaltungen dennoch nicht behindern.

6. Der Unterhalt

Wie schon erwähnt, halten normal belastete Kontakte der verwendeten Relais 10^7 Schaltungen ohne wesentliche Veränderung aus, die zum Eingreifen oder gar zu einer Revision Anlass geben würden. Im praktischen Betrieb, auch in Stationen mit starkem Zugverkehr, wird die erste Inspektion nach etwa 2 Jahren Betrieb vorgenommen. Sie kann sich auf eine Besichtigung der Relais und wo nötig leichte Reinigung der Kontakte beschränken. Eigentliche Revisionen sind bei den SBB bis jetzt nur bei Relais der älteren Bauart durchgeführt worden, bei denen mehr bewegliche Teile zu Störungen Anlass geben könnten. Auch hier sind die ersten Revisionen erst nach 5–10 Jahren als notwendig erachtet worden. Zahlreiche Relais, die seit Inbetriebnahme vor 40 Jahren ununterbrochen im Dienst stehen, werden erst jetzt einer gründlichen Revision unterzogen. Obwohl das Relais im Vergleich zu anderen Bauformen klein ist, spricht dies für grosse Robustheit.

Die Relais neuerer Bauart lassen noch günstigere Resultate erwarten, weil keine Gelenke oder in Drehzapfen gelagerte Teile vorhanden sind. Es ist kaum notwendig, auf die Wirkung hinzuweisen, die solche Eigenschaften auf die Kosten und den Personalbedarf für den Unterhalt ausüben.

7. Elektronische Bauteile und Stromkreise

Zweifelloos darf man von Elementen, die keine beweglichen Teile aufweisen, eine noch grössere Zuverlässigkeit erwarten. Es dürfte dies wohl der Grund sein, warum Versuche unternommen werden, auch in der Sicherungstechnik solche Teile anstelle der Relais in vermehrtem Mass anzuwenden, obwohl die Lösungen im allgemeinen teurer sind als mit normalen Relais. Ausser dem hohen Preis zeigen sich noch Schwierigkeiten anderer Art:

Betrachtet man zunächst elektronische Schaltelemente der Halbleitertechnik, so stellt man fest, dass sie gegen Spannungsspitzen, Überlastung und auch den Einfluss höherer Temperatur empfindlich sind. Teilweise kann dem begegnet werden durch Verwendung von Silizium als Grundmaterial. Jedoch haben alle diese Elemente den Nachteil, dass sie im Störfall einen unbestimmten Widerstand annehmen, der sich unter Umständen noch ändern kann. Ein Relais wird dagegen in einem Störfall entweder die Ruhekontakte offen oder geschlossen halten, d. h. der Widerstand der Schaltstelle kann nur einem der Extremwerte null oder unendlich ähnlich sein.

Die starre Führung der Kontakte bei Relais bietet die Möglichkeit, die Stellung aller Kontakte jeweils mit einem Kontakt zu prüfen. Elektronische Elemente haben jedoch keine zwangsläufig geführten Kontakte in diesem Sinn; jedes Element enthält grundsätzlich nur einen Kontakt, und eine Prüfung der Stellung bzw. des Zustandes des Elementes in analoger Weise wie beim Relais ist nicht möglich. Ferner verbieten die Eigenschaften dieser Elemente, viele von ihnen ähnlich wie Kontakte, in Serie zu schalten. Gewisse Schaltkombinationen, beispielsweise die Flip-Flop-Schaltung, nehmen nach einem Spannungsausfall und Wiederkehr der Spannung eine beliebige Lage ein.

Es ist damit nur eine unvollständige Reihe von Eigenschaften angedeutet, die für die Anwendung in der Sicherungstechnik besondere Massnahmen notwendig machen. Als eine der möglichen Massnahmen kann die Verdoppe-

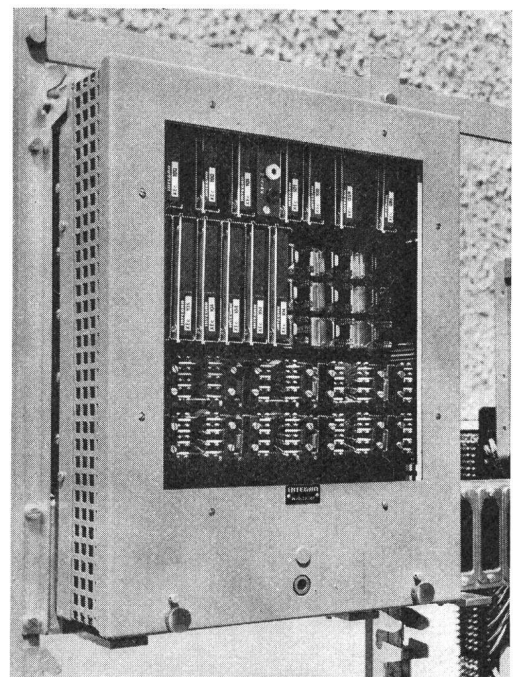


Fig. 5
Relaisatz für Achszählung mit elektronischen Elementen

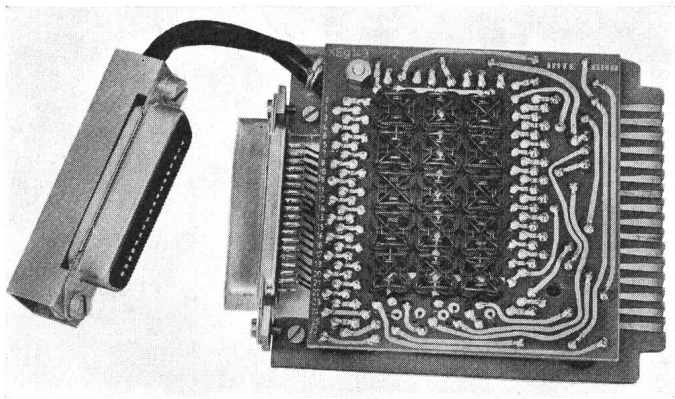


Fig. 6
Register für die Zugnummernmeldung

lung der Anzahl der Elemente betrachtet werden, d. h. zwei Systeme sind aufzubauen und parallel zu schalten in dem Sinne, dass in den Zwischenstufen und in der Endstufe Vergleiche stattfinden. Man erreicht dadurch ungefähr denselben Effekt wie er durch die Bedingung erreicht wird beim Relais, dass jeder Fehler sich zeigen muss, um zu verhindern, dass zwei Fehler gleichzeitig eine gefährliche Kombination erreichen. Die angedeutete Massnahme bei elektronischen Mitteln ist jedoch nicht sehr wirtschaftlich, so dass es eher richtig ist, von Fall zu Fall die notwendigen Massnahmen zu bestimmen.

Als Beispiel sei hier der elektronische Achszähler (Fig. 5) mit 255 Schritten angeführt. Bei diesem Apparat werden Flip-Flop-Elemente zur binären Zählung verwendet, so dass also für jede Zweierpotenz ein Flip-Flop-Element vorhanden ist. Die Schaltung ist so ausgeführt, dass die Flip-Flop-Zählkette vorwärts und rückwärts zählen kann, d. h. der erste Impulsgeber beeinflusst die Kette zum Aufwärtszählen, währenddem der zweite Impulsgeber, bei dem der Zug aus dem betrachteten Streckenabschnitt ausfährt, die Zählkette zum Rückwärtszählen veranlasst. Würde beispielsweise die dritte Zählstufe defekt und bei einem Zug mit 12 Achsen deren 8 verlorengehen, so würde der Zähler wieder auf null zurückkehren, obwohl nur 4 Achsen des Zuges die Strecke vollständig verlassen haben, d. h. die Meldung «Null» des Achszählers wäre eine Falschmeldung. Um dies zu vermeiden, wird in der Stellung «Null» und gleichzeitigem Freiwerden des Gleisabschnittes beim Auszählimpulsgeber ein künstlicher Auszählschritt und anschliessend ein künstlicher Einzählschritt vorgenommen. Dies bedeutet jedoch, dass von null an abwärts, d. h. auf 255, sämtliche Elemente in der Rückwärtsrichtung arbeiten müssen. Beim künstlichen Vorwärtsschritt von 255 auf null zurück müssen sämtliche Elemente in der Vorwärtsrichtung arbeiten. Bei dieser Gelegenheit würde dann ein Defekt sichtbar werden. Erst nach diesem Vorgang ist daher die Angabe «Null» eine echte Freimeldung.

Nebenbei bemerkt, ist auch hier das Erfordernis zu erfüllen, dass der Zähler nur dann ein echtes «Null» zeigen kann, wenn sichergestellt wurde, dass er aus der Nullstellung einmal herausgegangen und wieder zurückgekehrt ist, ein Vorgang, der der bekannten Blockbedingung entspricht, wonach ein Signal erst dann auf Fahrt gehen darf, wenn der daran vorbeigefahrene Zug vom nächsten Signal in der Haltestellung gedeckt wurde, das Gleisrelais also einmal stromlos war.

Dieses Beispiel zeigt, dass auch bei elektronischen Schaltungen die Bedingung erfüllt werden kann, die Arbeitsfähigkeit des ganzen Systems zu prüfen, jedoch ist die angewendete Methode auf jeden einzelnen Fall auszurichten. Ein einfaches Rezept wie bei Relaisschaltungen kann hier nicht angegeben werden.

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass Ferritkerne als Schaltelemente sicherungstechnisch wesentlich günstigere Eigenschaften haben als die übrigen elektronischen Elemente. Ein Defekt kann hier in Form eines Drahtbruches auftreten, was aber ohne weiteres prüfbar ist, oder der Kern selbst kann defekt werden, indem ein Stück abbricht oder indem er einen Riss bekommt. In diesem Fall ist der Kern nicht mehr in der Lage, zu übertragen. Jedoch ist auch beim Ferritkern darauf zu achten, dass oberhalb einer gewissen Temperatur seine Eigenschaften sich ändern.

Der Ferritkern hat aber eine andere Eigenschaft, die sehr erwünscht ist, nämlich dass er nicht durch Dauerstrom, sondern durch Impulse gesteuert werden kann, d. h. der Kern ist in der Lage, den erregten Zustand praktisch beliebig lang beizubehalten. Diese Eigenschaft entspricht der Eigenschaft des Stützmagnetschaltpaares, das ja in der Schaltungstechnik für Sicherungsanlagen eine bedeutende Rolle spielt.

Dass auch hier eine Prüfmöglichkeit besteht, zeigt die Schaltung des Zugnummernmelders (Fig. 6) für die Übertragung der Zugnummer von einem Videofeld in das andere. Ist die Übertragung einer einzigen Ziffer falsch, unvollständig oder unlesbar, so wird das Ausgangsfeld nicht gelöscht, sondern die dortige Ziffer blinkt und zeigt damit an, dass sie nicht richtig übertragen worden ist. Jedoch auch für solche Prüfungen kann kein einheitliches Rezept angegeben werden (Fig. 7).

7.1 Unterhalt elektronischer Bauteile

Auch bei Verwendung elektronischer Einrichtungen spielt die Frage des Unterhalts eine grosse Rolle, denn gerade die Tatsache, dass elektronische Elemente gegenüber dem Relais mit beweglichen Teilen eine Zuverlässigkeit aufweisen, die einige Zehnerpotenzen höher ist, scheint die Möglichkeit zu geben, den Unterhalt weiterhin zu reduzieren, d. h. zu verbilligen. Dies ändert nichts an der Notwendigkeit, die Funktionstüchtigkeit der Apparate in dem Sinne zu prüfen, dass

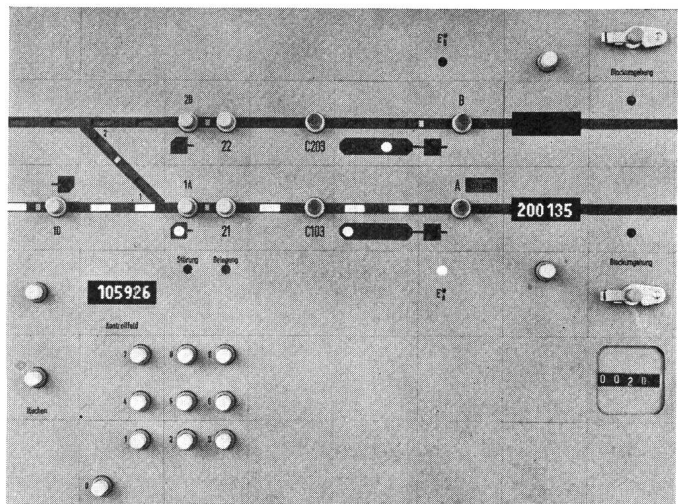


Fig. 7
Zugnummer-Einwahlstelle mit Kontrollfeld und zwei Meldefenstern

sich eintretende Fehler doch sofort bemerkbar machen, d. h. dass sie im Sinne der Sicherheit arbeiten.

Ein Vergleich mit der Anwendung derartiger Elemente für andere Verkehrsträger ist deshalb nicht zulässig, ohne die Vorbedingungen genau zu kennen. So werden beispielsweise in der Aviatik sowohl die Bodeneinrichtungen als auch die Einrichtungen auf dem Flugzeug in kurzen Zeitabschnitten immer wieder minutiös geprüft. Dadurch wird der Zeitabschnitt, der einem Fehler zur Verfügung steht, um einzutreten, relativ zur Zeit, die der Fehler nach Wahrscheinlichkeit zur Verfügung hätte, sehr stark verkleinert. Man macht also hier eine Konzession an die Wahrscheinlichkeit bezüglich des ersten eintretenden Fehlers, währenddem in der Sicherungstechnik bei der Eisenbahn diese Konzession erst für den zweiten Fehler gemacht wird, der eintreten kann, wenn schon ein anderer Fehler sich bemerkbar gemacht hat. Deshalb werden sehr wichtige Steuereinrichtungen verdoppelt. Die Methode der Bahn wäre auch in der Aviatik deshalb nicht anwendbar, weil man ja beim Auftreten eines Fehlers ein Flugzeug nicht anhalten kann. Auf der anderen Seite wäre es bei der Bahn nicht möglich, einen so minutiösen Unterhaltsdienst vorzunehmen. Man vergleiche beispielsweise die Anzahl der täglich angeflogenen oder überflogenen Flugplätze mit der Anzahl der täglichen Durchfahrten von Stationen durch Eisenbahnzüge in einem Eisenbahnnetz. Ein solcher Unterhalt, wie er in der Aviatik durchgeführt wird, wäre bei der Bahn in keinem Fall zu bezahlen. Die Berechnungsweise der sog. «Sicherheit» in der Aviatik mag dort ihre Berechtigung haben, ihre Anwendung jedoch auf andere Verkehrsmittel ohne Berücksichtigung der ganz anders gearteten Verhältnisse ist nicht zulässig.

Im Zusammenhang mit dem Unterhalt dürfte es richtig sein, noch einen anderen Gesichtspunkt zu erwähnen. Schon bei Einrichtungen, die lediglich Relais verwenden, ist die Anzahl der effektiv auftretenden Störungen ausserordentlich klein, so dass es Anlagen und Einrichtungen gibt, die während Jahren ohne Störung funktionieren. Dies bedeutet aber, dass das mit dem Unterhalt betraute Personal zu wenig Gelegenheit hat, mit dem Aufbau der Schaltungen vertraut zu bleiben.

Bei der Anwendung elektronischer Elemente zeigt sich dieses Phänomen in noch viel verstärkterem Mass. Der Unterhalt ist zwar wesentlich einfacher, indem elektronische Schalteinheiten, die nicht mehr funktionieren, weggeworfen werden. Dies wird dadurch erleichtert, dass alles steckbar ist und in vorfabrizierten Elementen auf Lager liegt, die nur wiederum eingesteckt werden können. Dagegen benötigt man auch in diesem Fall Leute, die wissen, was weggeworfen werden muss, und die Gelegenheit haben, ihre Erfahrungen durch Übung aufrechtzuerhalten.

Es wird notwendig werden, tragbare Prüfgeräte mit ausführlicher Anleitung für den Gebrauch zu entwickeln, um dem Unterhaltspersonal die Fehlersuche zu erleichtern.

8. Umfang der Stellwerkanlagen und Anwendungsbereich

Es liegt auf der Hand, dass es nicht möglich ist, überall Stellwerkanlagen einzubauen, wo Weichen liegen oder mit kleinen Zugabständen zu rechnen ist. Bei einer Strassenbahn wird man sicher darauf verzichten, auch wenn sie relativ hohe Geschwindigkeiten einhalten kann. Sobald sie jedoch auf eigenem Trasse oder im Tunnel fährt, können Sicherungs-

einrichtungen trotzdem notwendig werden. Ebenso könnte auch auf Nebenlinien von Vollbahnen, sofern der Verkehr schwach ist, unter Umständen auf die Anwendung von Eisenbahnsicherungseinrichtungen ganz verzichtet werden.

Die Frage, wo und in welchem Umfang solche Einrichtungen nötig sind, kann nicht nach einem einfachen Rezept gelöst werden. Die Antwort hängt in erster Linie von der Fahrgeschwindigkeit und der Verkehrsdichte ab, d. h. also von der Belastung des Personals bezüglich Umfang und Diversität der in einer Zeiteinheit zu erfüllenden Aufgaben. Sofern die Aufgabe einfach ist und genügend Zeit zur Verfügung steht, die nötigen Entschlüsse zu fassen, ist der Mensch ausserordentlich zuverlässig. Als Beispiel sei der Bahnhof Zürich erwähnt, der bis zum Jahr 1935 keine Stellwerkanlage besass. Die Weichen wurden durch Bodenwärter von Hand an Ort und Stelle betätigt, wobei jedem Wärter eine kleine Gruppe von Weichen zugeteilt war. Dank dem Umstand, dass jeder Wärter seine Aufgabe überblicken konnte, sind keine erwähnenswerten Betriebsunfälle in diesem Bahnhof vorgekommen.

Man kann sich jedoch nicht vorstellen, was ein einzelner Mann vor einem Apparat beginnt, der die Betätigungseinrichtung für zahlreiche Weichen und Signale enthält, ohne dass zwischen diesen Betätigungsorganen Abhängigkeiten vorhanden wären, die dem Beamten die Verantwortung abnehmen.

Immerhin ist die Zuverlässigkeit des Menschen, auch für den Einzelnen, keine konstante Grösse. Sie kann durch Ablenkung, beispielsweise durch ein aus der Routine fallendes Vorkommnis, oder durch Sorge um ein krankes Kind usw. ganz beträchtlich herabgesetzt werden.

Erst wenn die Anzahl und die Verschiedenheit der Aufgaben, die ein Mann zu bewältigen hat, ansteigt, wird es nötig, ihm die Verantwortung zum Teil oder ganz abzunehmen. Deshalb kann ein Lokomotivführer, solange die zu beachtenden Signale sich nicht allzusehr häufen, ohne besondere Einrichtungen auskommen, denn er kann sich auf die Beobachtung der Signale konzentrieren. Bei Geschwindigkeiten über z. B. 90 km/h ist es aber unter Umständen angebracht, eine Einrichtung vorzusehen, die zunächst seine Tätigkeit überwacht, also nur im Falle seines Versagens einspringt. Bei noch höheren Geschwindigkeiten und grosser Signaldichte ist es notwendig, ihn von seiner Verantwortung zu entlasten, indem die Signalbegriffe und später auch die Bremsdistanzen vom Gleis auf die Maschine übertragen werden. Da nun diese Einrichtungen mindestens zum Teil die Verantwortung übernehmen, bilden sie eine Fortsetzung der Stellwerkanlage auf das Triebfahrzeug und sind somit nach den gleichen Grundsätzen zu bauen und zu beurteilen.

9. Signalübertragung auf das Triebfahrzeug

Es sind bis jetzt drei verschiedene Systeme für die Übertragung von Signalbegriffen auf den Zug bekannt und verwendet worden:

- a) Punktförmige Übertragung;
- b) Linienförmige Übertragung über die Schiene;
- c) Linienförmige Übertragung über ein Kabel.

9.1 Das punktförmige System

Das punktförmige System ist seinem Wesen nach ein System aktiver Art, kann also nicht leicht überwacht werden.

Die Empfangseinrichtung allein ist überwachbar, indem der Empfangskreis selbst als Ruhestromkreis ausgebildet wird, der entweder dauernd die Symmetrie der Einrichtung prüft oder der als Ruhestrom wirkt, dem beim Empfang Energie entzogen wird.

Die Überwachung auf der Sendeseite ist jedoch wesentlich schwieriger. Einmal ist es möglich, die Energie von der Lokomotive durch sog. doppelte Übertragung selbst zu beziehen. Der am Gleis notwendige Stromkreis enthält dann selbst keinen Kontakt, sondern wird durch einen Kontakt am Signal kurzgeschlossen. Diese Überwachung ist nicht einwandfrei.

Ebensowenig einwandfrei ist die Überwachung auf der Sendeseite beim System des Energie-Entzuges. Es handelt sich hier um Schwingungskreise, also auch um in sich geschlossene Stromkreise am Gleis, die nur während der Übertragung Strom führen und somit nicht dauernd überwacht sind.

Eine dritte Methode, als Energieträger Permanentmagnete zu verwenden, ist in dieser Beziehung wesentlich besser, da eine Überwachung des Magneten im Grunde genommen nicht notwendig ist. Immerhin besteht für alle drei Möglichkeiten immer noch die Gefahr, dass die am Gleis befindliche Einrichtung überhaupt zerstört wird und damit die Signalübertragung an jenem Punkt nicht möglich ist.

Die Verwendung eines Permanentmagneten hat immerhin den Vorteil, dass man ohne weiteres Stromquellen am Gleis verwenden kann, indem elektrische Energie nur verwendet wird, um eine Erlaubnis zu geben, sofern vorher der Permanentmagnet gewirkt hat. Fällt die Stromquelle aus oder ist der betreffende Stromkreis defekt, so bleibt eben die Erlaubnis aus, nicht aber das Verbot.

9.2 Kontinuierliche Systeme

Die erwähnten kontinuierlichen Übertragungssysteme haben beide den Vorteil, dass sie nach dem Ruhestromsystem arbeiten, d. h. keine Übertragung bedeutet Halt, das stärkste Verbot. Übertragen werden lediglich Begriffe der Erlaubnis. Jedoch fehlt auch hier bei den heute vorgeschlagenen Systemen die Prüfung, wonach das Verbot wirklich als solches empfangen wurde.

Beide Systeme leiden jedoch an einer anderen Schwierigkeit. Die Triebfahrzeuge müssen ja auch in der Lage sein, innerhalb der Stationen auf Gleisabschnitten zu verkehren, die nicht mit der linienförmigen Übertragung ausgerüstet sind. Es wird auch Strecken von Nebenlinien geben, auf denen dies der Fall ist. In diesem Moment muss das Verbot «Keine Übertragung identisch Halt» umgangen werden. Eine sicherungstechnisch einwandfreie Kontrolle, ob diese Umgehung dort beseitigt ist, wo nun wirklich die Übertragung spielen soll, ist praktisch nicht zu erreichen, es sei denn unter Zuhilfenahme der punktförmigen Übertragung mittels Permanentmagnet.

Gegenüber dem Linienleiter mit Kabel hat der Linienleiter auf der Schiene den grossen Vorteil, dass die Erlaubnis nur auf dem vordersten Fahrzeug empfangen werden kann, d. h. ein hinter dem fahrenden Zug auf den gleichen Abschnitt eindringendes weiteres Triebfahrzeug erhält bestimmt keine Information, also die Übertragung Halt. Diese Eigenschaft ist in Parallele zu setzen mit dem Streckenblock, d. h. diese linienförmige Übertragung kann direkt als Glied der Stellwerkanlage ausgebaut werden. Diese Eigenschaft hat

ferner zur Folge, dass die Meldungen des Linienleiters eindeutig sind, denn es kann nur die Information für einen Zug auf die Schiene gegeben werden. Das bedeutet aber, dass auch bei der Abfahrt des Zuges im Bahnhof der Linienleiter eine eindeutige Information überträgt, und zwar nur an den Zug, für den die Ausfahrt vorbereitet ist.

Der Linienleiter über Kabel hat den Vorteil, dass er auch dort anwendbar ist, wo die Schienen nicht gegeneinander isoliert sind, und somit auch der Streckenblock über Schienenstromkreise nicht möglich ist. Dagegen hat er den Nachteil der Mehrdeutigkeit, die eine ganze Reihe von Problemen aufwirft.

a) Die Züge müssen sich einwandfrei durch eine Adresse unterscheiden. Schon bei der Abfahrt muss gewährleistet sein, dass die richtige Meldung an die richtige Adresse geht. Somit ist auch der Zustand: Keine Meldung = Halt unmöglich, weil auf demselben Leiter noch Meldungen für andere Züge vorhanden sein werden. Selbst wenn dies nicht der Fall ist, müsste die Adressierung genau durchgeführt werden, weil ein Zug, der hinter einem anderen das Halt-Signal überfährt, in den Bereich des ersten Zuges käme, und damit hinter diesem die gleiche Erlaubnis empfangen würde wie der voranlaufende Zug. Sicherungstechnisch einwandfrei liesse sich das Problem wahrscheinlich nur so lösen, wie es bei der Fernübertragung zwischen verschiedenen Stellwerken gelöst ist, d. h. die adressierte Meldung wird von der Maschine empfangen, von der Maschine mit der Adresse richtig quittiert, und erst auf Grund der empfangenen Quittung wird mit der richtigen Adresse der Ausführungsbefehl gegeben.

b) Bei nicht abschnittsweise unterteiltem Linienleiter, bei dem also dauernd für mehrere Züge auf demselben Linienleiter Informationen gegeben werden müssen, ist ferner der Standort des adressierten Zuges jeweils festzustellen. Dies kann mit normalen sicherungstechnischen Mitteln geschehen, wobei jedoch aus sicherungstechnischen Gründen eine direkte Meldung des Zuges mit Zugnummer an bestimmten kritischen Punkten notwendig ist. Die stellwerkmässige Meldung, dass der Zug seinen Schlusswagen nicht verloren hat, ist nach wie vor nötig.

10. Der Störfall

Wie im 3. Abschnitt ausgeführt, wird Sicherheit dadurch erreicht, dass jeder Fehler, also auch ein solcher, der im Sinne der Sicherheit wirkt, sich dadurch melden muss, dass eine Erlaubnis, die an sich möglich wäre, nicht mehr gegeben werden kann. Der Beamte, der die Erlaubnis geben sollte, kann jedoch nicht auf die Behebung der Störung warten; der Betrieb muss weiterlaufen. Somit tritt hier wiederum das menschliche Element ein, und zwar unter erschwerenden Umständen, da es um die Unterbrechung einer Routinehandlung geht.

Es gelten für den Beamten einige Regeln, an die er sich zu halten hat:

- a) Er darf sich durch den Zeitablauf nicht drängen lassen.
- b) Er hat sich persönlich über die Lage im Bahnhof bzw. die Zuglage auf der Strecke zu vergewissern, zunächst unter der Annahme, der Apparat habe korrekterweise eine nicht erlaubte Handlung verhindert.
- c) Wird einwandfrei festgestellt, dass eine Störung im Apparat vorliegt, hat der Beamte nach den für den vorliegenden Fall gültigen Reglementen zu handeln.
- d) Der Beamte muss sich bewusst sein, dass er allein die Verantwortung für die Abgabe einer Erlaubnis trägt, die der Apparat nicht mehr zu geben in der Lage ist. Muss an einem Element, z. B. an einer Nottaste, eine Plombe abgerissen werden, so bleibt der Beamte für den nun durch den Apparat nicht mehr gedeckten Teil der Sicherheit so lange persönlich verantwortlich, bis die Plombe wieder ersetzt ist.
- e) Solange ein Zug auf einer Strecke mit der persönlich erteilten Erlaubnis des Beamten unterwegs ist, darf der Fehler nicht behoben werden (z. B. Auswechseln einer defekten Lampe), da nicht feststeht, wie der Apparat reagiert, besonders wenn er in der Lage ist, Vorgänge automatisch einzuleiten.

f) Handelt es sich bei der durch den Apparat nicht erteilten Erlaubnis nicht um einen Defekt im Apparat, sondern um einen abnormalen Betriebsablauf, der durch einen weiteren Betriebsvorgang wieder in den normalen Zustand im Apparat führt, so bleiben die Reglemente nach d) dennoch so lange in Kraft, bis der abnormale Vorgang vollständig abgelaufen ist.

Gerade weil ein Störfall der Routine nicht entspricht, bedeutet er für den Beamten eine besondere Belastung, die ihn dazu zwingt, sich ganz dieser einen Sache zu widmen. Andererseits zeigt sich, wie wichtig die Zuverlässigkeit der Sicherungseinrichtungen ist; sie muss um etliche Zehnerpotenzen höher sein als die des Menschen. Nur zu einem Apparat, der der Sicherheit gewährleistet, gewinnt der Beamte Vertrauen und auch nur dann, wenn die Fehleranfälligkeit ausserordentlich gering ist. Andernfalls würde sich der Beamte in einer sehr unglücklichen Situation befinden, in der womöglich die «Sicherheit» des Betriebes ohne diesen Apparat eher gewährleistet wäre als mit ihm.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine fehlerhafte Erlaubnis durch Kombination zweier Fehler innerhalb der kurzen Zeit bis zur Behebung des ersten Fehlers gegeben wird, ist aus-

serordentlich klein, praktisch null. Noch viel kleiner ist aber die Möglichkeit, dass der erste Fehler, der zu einer falschen Kombination geführt hat, nachträglich nicht mehr festgestellt werden könnte, es sei denn, der Apparat würde bei dieser Gelegenheit zerstört.

11. Schlussfolgerungen

Selbstverständlich können die hier angeführten Beispiele und zugehörigen Kommentare bei weitem nicht alle Fragen beantworten, die mit dem hier angewandten System für die Erreichung der Sicherheit zusammenhängen. Jedoch sollten sie mindestens einige der wichtigsten Probleme und Prinzipien erläutern. Sie zeigen auch die Gründe, warum Sicherheitsschaltungen, wie diejenigen der Eisenbahnsicherungseinrichtungen, bis zu einem gewissen Grad aufwendiger sind als die Schaltungen der allgemeinen Technik.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. K. Oehler, Restelbergstrasse 16, 8044 Zürich.

EIN BLICK ZURÜCK

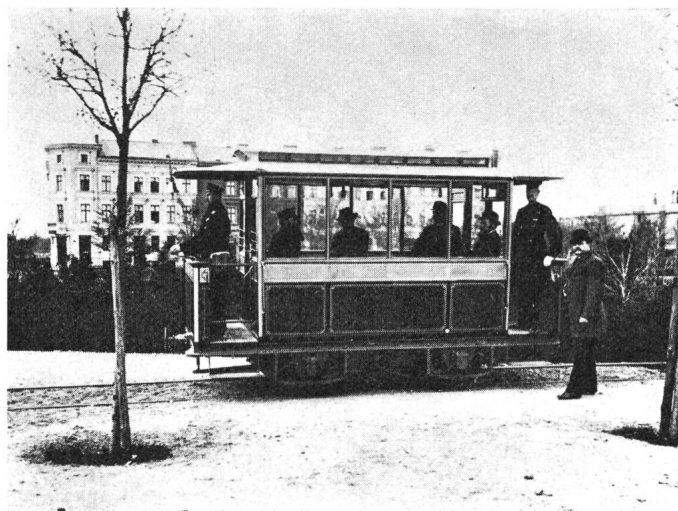
Die erste elektrische Strassenbahn der Welt, 1881

Die Strassenbahn gehört heute zum gewohnten Bild einer Großstadt. Aber wie so viele Erfindungen wurde sie anfangs gar nicht sehr ernst genommen. 1879 wurde auf der Berliner Gewerbeausstellung (in Treptow) zum erstenmal der Öffentlichkeit eine kleine elektrisch betriebene Versuchsbahn mit Fremdstromversorgung vorgestellt. Dieser folgte dann 1881 die ebenfalls von *Werner von Siemens* erdachte erste elektrische Strassenbahn, die am 16. Mai in Berlin-Lichterfelde in Betrieb genommen wurde. Auf der 2,5 km langen Strecke zwischen dem Bahnhof der Anhaltischen Eisenbahn und der Hauptkadettenanstalt fuhr der Wagen täglich 12mal in beiden Richtungen mit einer durchschnittlichen Fahrtdauer von 10 Minuten. — Die Bahn war zwar in ihren Einzelheiten noch behelfsmässig, entsprach aber doch den Erwartungen ihres Erbauers. Er betrachtete die Bahn als «eine von ihren Säulen und Längsträgern herabgenommene und auf den Erdboden verlegte Hochbahn» und spielte darauf an, dass ihm die Errichtung einer Hochbahn durch die Friedrichstrasse abgeschlagen worden war.

Wie sah nun dieser elektrisch betriebene Strassenbahnwagen aus? Der 5 m lange und 2 m breite Triebwagen, ausgerüstet mit 12 Sitz- und 8 Stehplätzen, war den damals noch üblichen Pferdebahnwagen sehr ähnlich. Als Wagenmotor diente eine Gleichstrommaschine in offener Bauweise mit dem Gewicht von ca. 500 kg. Der Motor, der zwischen den Achsen am Wagenchassis befestigt war, hatte eine Leistung von 5 PS. Von der Behörde wurde eine Fahrgeschwindigkeit von höchstens 20 km/h zugelassen. Bei der Probefahrt am 12. Mai 1881 ergab sich aber, dass selbst bei voller Belastung mit 20 Personen eine Geschwindigkeit von 30 bis 40 km/h erreicht werden konnte. Die Kraftübertragung vom Motor zu den Antriebswellen erfolgte durch Drahtspiralschnüre aus Stahl. Zum ändern der Fahrtrichtung wurde die Stromrichtung im Anker durch einen Walzenfahrtschalter in Verbindung mit einem Anlasswiderstand umgekehrt. Zur Stromversorgung diente ein Generator mit einer Leistung von 15 bis 20 PS, 180 V, der in der Lichterfelder Pumpstation aufgestellt war. Die Stromzu- bzw. rückführung für den Wagen erfolgte durch die Schienen von 1 m Spurweite. Da beim Überqueren von schienengleichen Wegübergängen Pferde manchmal gleichzeitig auf beide Schienen traten, und infolge eines elektrischen Schlages durchgingen, half man diesem Übel dann zunächst durch den Einbau von Isolierstücken ab. Damit die Räder über die Welle keinen Kurzschluss zwischen den beiden Schienen machen konnten, waren die Radkränze auf der einen Wagenseite gegen die Radnabe isoliert. Von der Schiene wurde der Strom durch Schleiffedern dem Motor zugeführt.

Der Versuchsbetrieb war zunächst nur für zwei Jahre geplant. Aber die Bahn fand bei der Öffentlichkeit immer stärkere Beachtung, so dass man sich 1890 zu einer Verlängerung der Strecke um 1,4 km und zur Einführung des Oberleitungsbetriebes mit Bügelstromabnehmern entschloss.

H. Wolf



Siemens AG, München