Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 22

Artikel: Probleme der automatischen Gleisfreimeldung auf dem Netz der schweizerischen Bahnen

Autor: Oehler, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916783

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: 03.02.2026

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)

Probleme der automatischen Gleisfreimeldung auf dem Netz der schweizerischen Bahnen

Von *K. Oehler*, Wallisellen

656.256.3

Es werden die Aufgaben der automatischen Gleisfreimeldung und die Mittel, die zu deren Erfüllung zur Verfügung stehen, erwähnt und festgestellt, dass in der Schweiz zwei Arten der Gleisfreimeldung angewendet werden: Der Schienenstromkreis und die Achszählung. Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick werden die elektrischen Eigenschaften der Schienenstromkreise erläutert, deren Kenntnis zum Verständnis der verschiedenen Ausführungsformen und der damit gemachten Erfahrungen wesentlich ist. Die Wirkungsweise der Achszählung wird an Hand der Entwicklungsstufen erläutert und das Problem der sicherungstechnischen Prüfung der Funktionstüchtigkeit der elektronischen Elemente erwähnt. Abschliessend wird auf die Bedeutung der Einrichtung für die Leistungsfähigkeit der Schweizerischen Bundesbahnen hingewiesen, die mit etwa 80 Zügen pro Tag und km an der Spitze aller Bahnverwaltungen stehen.

L'auteur indique les buts de la signalisation automatique de voie libre et les moyens dont on dispose à cet effet. En Suisse, on utilise deux systèmes de signalisation: le circuit de voie et le comptage des essieux. Après un bref aperçu historique, l'auteur décrit les propriétés électriques du circuit de voie, dont la connaissance est importante pour comprendre les diverses formes d'exécution et les expériences faites avec ce système. Il explique ensuite le fonctionnement du comptage des essieux, en montrant les différentes étapes de son développement, et expose le problème du contrôle de la sécurité de fonctionnement des éléments électroniques. Pour terminer, il montre l'importance de l'appareillage pour les performances des Chemins de fer fédéraux suisses, qui viennent en tête de toutes les entreprises ferroviaires avec 80 convois par jour et par km.

Die automatische Gleisfreimeldung als Mittel zur Verbesserung der Sicherheit auf dem Gebiet der Station sowie zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Strecke hat schon frühzeitig das Interesse der schweizerischen Bahnverwaltungen wachgerufen. Die betrieblichen Verhältnisse innerhalb der Stationen sind ganz andere als die auf der Strecke zwischen den Stationen. Im ersten der beiden Betriebsgebiete erfüllt die Gleisfreimeldung verschiedenartige Aufgaben; sie stehen in Zusammenhang mit den Einrichtungen des Stellwerkapparates. Auf der Strecke bilden sie dagegen eine sehr erwünschte Ergänzung des Streckenblocks, der die Züge in räumlichem Folgeabstand zu halten hat. Gerade hier bietet sich die beste Möglichkeit, die automatische Gleisfreimeldung nutzbringend einzusetzen, weil sie die Beobachtung des Zugschlussignals ersetzt.

1. Aufgabe und angewendete Mittel

Innerhalb der Stationen hat die Gleisfreimeldung drei verschiedene Aufgaben zu lösen:

a) Sie soll die von einem Zug zu befahrenden Gleise freimelden bevor die Zugfahrt stattfinden kann. Sie steht somit im Zusammenhang mit den Signalen, die die betreffende Zugfahrt beherrschen.

b) Die Weichenstellvorrichtungen stehen in Abhängigkeit von der Gleisfreimeldung in dem Sinne, dass Weichen nur umgestellt werden können, wenn ihre zugeordneten Gleisabschnitte frei sind. Es soll damit verhindert werden, dass Weichen unter einem Zug umgestellt werden können, auch dann, wenn die betreffende Fahrstrasse schon aufgelöst ist. Diese Aufgabe ist naturgemäss auch auf Rangierfahrten ausgedehnt.

c) Durch die Gleisfreimeldung sollen Vorgänge ausgelöst werden, die im Zusammenhang mit der Sicherung der Fahrstrasse nötig sind. Es handelt sich um eine Belegtmeldung, die naturgemäss ähnlich oder gleich derjenigen der Gleisfreimeldung aufgebaut ist. Diese auszulösenden Vorgänge bilden einen wesentlichen Teil der Automatik, die im modernen Stellwerkbau verwirklicht ist und nicht nur eine Beschleunigung des Verkehrs bezweckt, sondern auch ganz wesentlich zur Sicherung des Verkehrs in den Stationen beiträgt.

Auf der Strecke zwischen den Stationen erfüllt die automatische Gleisfreimeldung nur eine Aufgabe: den Schutz der Zugfahrt gegen eine Folgefahrt und bei eingleisiger Strecke vor einer Gegenfahrt. Die Mitwirkung eines Beamten bei der Beobachtung des Zugschlusses wird unnötig. Die Unterteilung einer Strecke zwischen zwei Stationen in mehrere Abschnitte mittels Blocksignalen erfordert kein zusätzliches Personal. Daher wird diese Unterteilung durch die automatische Gleisfreimeldung auf der Strecke überhaupt erst wirtschaftlich tragbar.

Die zur Ausführung dieser Aufgaben zur Verfügung stehenden mechanischen Mittel sind ausserordentlich spärlich. Sie beschränken sich auf mechanische oder elektrische Fühlschienen, Pedale oder Schienenkontakte, die alle bei den hohen Geschwindigkeiten, die heute bei der Bahn vorkommen, nicht mehr zuverlässig arbeiten und einem viel zu hohen Verschleiss unterliegen. Erst die Einführung rein elektrischer oder elektromagnetischer Mittel gestattete die Ausführung einer automatischen Gleisfreimeldung, die den heutigen Ansprüchen des Eisenbahnbetriebes genügt. Es kommen bis jetzt auf dem Netz der schweizerischen Bahnen im wesentlichen zwei Möglichkeiten in Frage:

a) Der Schienenstromkreis verwendet die Tatsache, dass die beiden Schienen durch die Achsen der Fahrzeuge elektrisch miteinander verbunden werden, so dass die Achsen eines Zuges als Kontakte in einem Stromkreis verwendet werden können. Dabei muss vorausgesetzt werden, dass die beiden Schienen gegeneinander isoliert sind und dass der Stromkreis auch in der Längsrichtung der Schienen auf irgendeine Weise abgeschlossen werden kann. Die erste Bedingung ist mehr oder weniger gut erfüllt, wenn die Schienen auf Holzschwellen liegen; die Isolierung in der Längsrichtung geschieht dadurch, dass man bei einem geeigneten Schienenstoss isolierende Laschen verwendet und die Schienenenden durch isolierende Zwischenstücke trennt. Die Unvollkommenheit der Isolation beschränkt die Länge des Schienenstromkreises. Die Verwendung von Eisenschwellen macht seine Anwendung unter gewissen Umständen überhaupt unmöglich.

b) Die Achszählung ist ein anderes Mittel für die automatische Gleisfreimeldung für den Fall, dass Schienenstromkreise nicht anwendbar sind. Bei dieser Methode werden an den Enden des frei zu meldenden Streckenabschnittes Impulsgeber am Gleis so eingebaut, dass jede vorbeifahrende Achse einen elektrischen Impuls erzeugt. Die Impulse werden einer Zählvorrichtung zugeführt, die entweder durch mechanischen Motorantrieb betätigt wird oder als

Relaisregister, bzw. elektronisches Register aufgebaut sein kann. Werden am Ende des Abschnittes gleichviele Achsen ausgezählt wie am Anfang eingezählt wurden, wird die betreffende Strecke freigemeldet. Diese Methode kommt dort in Frage, wo Schienenstromkreise infolge der Eigenschaften des Oberbaues oder der zu grossen Länge des Gleisabschnittes nicht in Betracht kommen.

Weitere Methoden, die vorläufig nur im Ausland und auch dort nur in geringem Umfang angewendet sind, sollen hier nicht betrachtet werden.

2. Der Schienenstromkreis

2. 1 Geschichtlicher Überblick

Schienenstromkreise (Fig. 1) wurden erstmals von den Amerikanern schon vor dem Jahr 1902 angewendet, um die Gleisfreimeldung für den automatischen Streckenblock zu verwirklichen, da es keine Möglichkeit gab, die in verlassenen Gegenden befindlichen Blockstellen durch Personal zu besetzen. Lange Zeit wurden in Europa Schienenstromkreise nur für ganz kurze Abschnitte, d. h. als eigentliche Belegtanzeige für die Auslösung von Vorgängen verwendet. Erst mit dem Bau von Untergrund- und Vorortbahnen wurden Schienenstromkreise für den Zweck der Streckenfreimeldung auch in Europa bekannt; dagegen wurde bei den Hauptbahnen wegen des unterschiedlichen Wagenmaterials noch längere Zeit gezögert, diese Einrichtung auch dort einzuführen. In der Schweiz wurde erstmals im Jahr 1936 eine automatische Blockstelle zwischen Zürich und Wiedikon mit Hilfe von Schienenstromkreisen verwirklicht. Drei Jahre später wurde die bediente Signalstation Fluhmühle, welche die Abzweigung der eingleisigen Strecke Luzern-Bern von der zweispurigen Strecke Luzern-Olten beherrscht, durch eine von Luzern ferngesteuerte Station ersetzt. Auch hier wurden Schienenstromkreise für die automatische Freimeldung der verschiedenen Abschnitte eingesetzt.

Eine Anwendung der Gleisfreimeldung mit Schienenstromkreisen in grösserem Maßstab folgte im Jahre 1941 bei der Unterteilung der Strecke Zürich-Oerlikon in fünf Abschnitte für jede Richtung. Hier wurden die Schienenstromkreise nicht nur verwendet, um die Abschnitte frei zu melden, sondern gleichzeitig den Haltbegriff des Hauptsignals an das Vorsignal zugleich mit der Blockbedingung zu übertragen, indem der Schienenstromkreis umgepolt wird. Das Gleisrelais hat drei Lagen (+, 0, —), die zusammen mit einem Blockhilfsrelais diese Funktionen auszuüben vermögen (Fig. 2). Unter dem Ausdruck «Blockbedingung» versteht man die Bedingung,

33'223–236

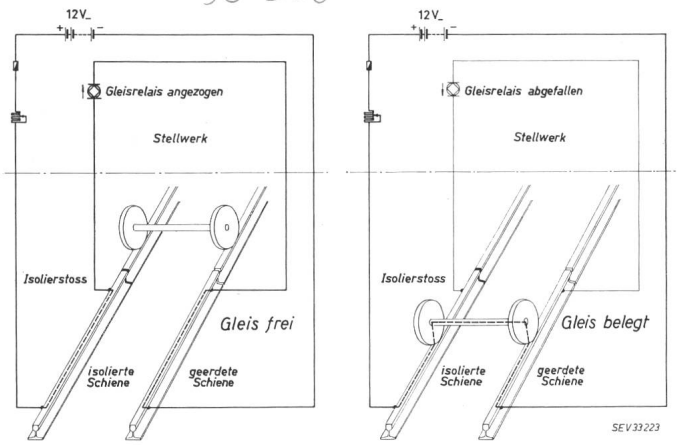

Fig. 1

Der Schienenstromkreis nach dem Ruhestromprinzip

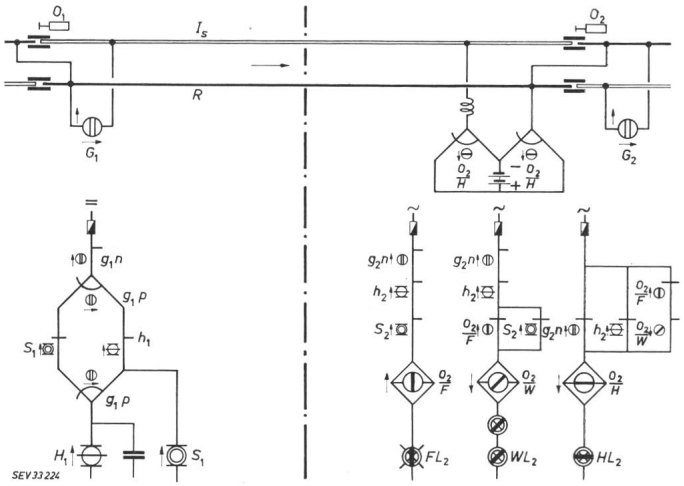

Fig. 2

Der Schienenstromkreis als Element des automatischen Streckenblocks mit den Signalstromkreisen auf der Strecke Zürich—Oerlikon

O Blocksignal; I_s isolierte Schiene; *R* Rückleiter für Traktions- und Schienenstrom; *G* Gleisrelais mit polarisiertem Kontaktsatz; *gn* Neutralkontakt; *gp* Kontakt am polarisierten System; *H* Hilfsrelais; *S* Signalschaltrelais; *FL, WL, HL* «Fahrt»-, «Warnungs»- und «Halt»-Lampen; $\overline{O}_F$, $\overline{O}_W$, $\overline{O}_H$ Überwachungsrelais der Signallampen (mit Gleichrichter)

dass ein Signal hinter dem Zug erst dann wieder auf Fahrt gehen darf, wenn der Zug durch das nächstfolgende, dazwischen stehende Signal gedeckt ist.

Diese sowie noch weitere in den folgenden Jahren gebaute Schienenstromkreise wurden alle mit 12 V Gleichstrom betrieben. Diese Stromart und Spannung hat sich als geeignet erwiesen, den Einfluss des Traktionsstromes von $16^2/_3$ Hz, dem jeweils eine Schiene als Rückleitung zur Verfügung gestellt werden muss, aus dem eigentlichen Schienenstromkreis fernzuhalten. Im Jahr 1956 wurde erstmals Wechselstrom 1000 Hz bei Schienenstromkreisen in den Stationen Vernier-Meyrin, Satigny und La Plaine angewendet, weil diese Stationen und Streckenabschnitte mit Gleichstromlokomotiven der französischen Bahnen befahren werden.

Eine weitere interessante Neuerung wurde im Gotthardtunnel angewendet, als es sich im Jahr 1962 darum handelte, die äusseren Drittel der Tunnelstrecke anschliessend an Göschenen, bzw. Airolo, auf jedem Gleis in je vier Blockabschnitte zu unterteilen. Es wurde hier ein phasenmodulierter Code mit Wechselstrom von 125 Hz gewählt.

Im Jahr 1941 erreichte die mit automatischer Gleisfreimeldung mittels Schienenstromkreisen ausgerüstete Streckenlänge 4,83 km Einspur und 19,65 km Doppelspur. Bis im Jahr 1962 sind diese Längen auf 28,25 km Einspur und 50,5 km Doppelspur bei den Bundesbahnen allein angewachsen.

2. 2 Elektrische Eigenschaften der Schienenstromkreise

Es dürfte von Interesse sein, auf die elektrischen Eigenschaften eines Stromkreises, der die Schienen eines Gleisabschnittes als wesentlichen Teil enthält, etwas näher einzutreten und die Erfahrungen, die mit den verschiedenen Möglichkeiten des Betriebes solcher Stromkreise gemacht wurden, zu diskutieren.

Die Schienenstromkreise können auf zweierlei Arten aufgebaut sein:

a) Es liegen die Stromquelle und die Schienen, die eine bestimmte Länge haben und gegen die anstossenden Gleise durch isolierende Stösse elektrisch abgetrennt sind, in Serie mit einem Relais. Das Relais führt bei unbesetztem Gleis einen Strom, der im wesentlichen

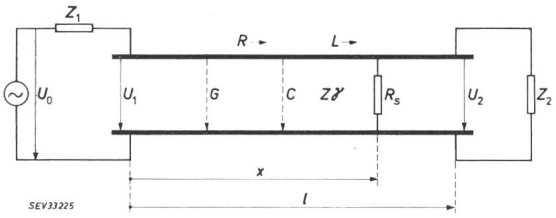

Fig. 3
Schema des Schienenstromkreises
Bezeichnungen siehe im Text

bestimmt wird durch die Ableitung zwischen den beiden Schienen. Sind die beiden Schienen durch anwesende Achsen überbrückt, wird dieser Widerstand auf nahezu null verkleinert, so dass nun praktisch die volle Spannung am Relais liegt. Das Relais ist somit bei belegtem Abschnitt erregt (Arbeitsstrom).

b) Die Stromquelle wird mit ihren beiden Polen am einen Ende des Gleisabschnittes an die beiden Schienen angeschlossen, während das Relais am anderen Ende des Abschnittes zwischen die Schienen gelegt wird. Dadurch entsteht ein Stromkreis über das Relais, wobei die Schienen in ihrer Längsrichtung einen Teil des Stromleiters bilden. Eine auf dem Gleisabschnitt befindliche Achse schliesst nun die Stromquelle des Relais kurz, so dass dieses abfällt, solange die Achse dort ist. Das erregte Relais meldet den Abschnitt frei (Ruhestrom).

Die Methode a) wird im allgemeinen nur für sehr kurze Abschnitte verwendet, die in erster Linie dazu dienen, gewisse Vorgänge auszulösen, die also nicht die Funktion einer Gleisfreimeldung, sondern eher einer Belegtmeldung ausüben. Für die Freimeldung eines längeren Abschnittes kommt nur die Methode b) in Frage und zwar deshalb, weil irgendein Fehler im Stromkreis, beispielsweise Verschwinden der Spannung an der Stromquelle, Aderbruch, Schienenbruch, Kurzschluss, alle gleich wirken, wie wenn die Strecke belegt wäre; es gibt — sofern das Relais als solches zuverlässig arbeitet — keine Störung, die ein freies Gleis vortäuscht (alle Stromkreise in der Sicherungstechnik müssen so aufgebaut sein, dass sich ein Fehler im Sinne der Sicherheit zeigt).

Man kann einen solchen Stromkreis als ein Doppelleitersystem auffassen, bestehend aus den zwei Schienen, denen ein Widerstand Z_1 (Zuleitung und Rückleitung) vorgeschaltet ist, und an dessen Ende sich die Last Z_2, bestehend aus der Empfangseinrichtung, befindet. Der Doppelleiter hat einen Längswiderstand, eine Längsinduktivität, eine Querableitung und eine Querkapazität, wobei diese vier Grössen auf die Einheit der Länge, d. h. 1 km bezogen sind. Die Spannung der Stromquelle sei U_0, die am Anfang des Abschnittes sei U_1, die Spannung an seinem Ende U_2 und der eventuell noch hinzukommende Shuntwiderstand der Achse sei R_s (Fig. 3).

Für das freie Gleis kann der Wellenwiderstand Z des Doppelleiters aus diesen Leitungskonstanten errechnet werden nach der bekannten Formel:

$$Z = \sqrt{\frac{R + \mathrm{j}\,\omega L}{G + \mathrm{j}\,\omega C}}$$

Darin sind: R Längswiderstand; L Induktivität; G Ableitung; C Kapazität des Doppelleiters per Längeneinheit.

Das Wellenübertragungsmass ist

$$\gamma = \sqrt{(R + \mathrm{j}\,\omega L)(G + \mathrm{j}\,\omega C)} = \alpha + \mathrm{j}\,\beta$$

Die erste der beiden Grössen ist unabhängig von der Länge der Leitung, während die zweite Grösse sich auf die Längeneinheit 1 km bezieht. α ist die Dämpfung der Leitung in Neper pro km und wird Dämpfungsbelag genannt. β ist der Phasenbelag zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung derselben Leitung in Radian pro km und wird Winkelmass genannt.

Betrachtet man zunächst den Shuntwiderstand der Achse R_s als ∞, d. h. den nicht besetzten Zustand des Gleisabschnittes, dann sind:

$$U_1 = U_2 \cdot \cosh \gamma\, l + Z \cdot I_2 \cdot \sinh \gamma\, l$$

und

$$I_1 = \frac{U_2}{Z} \cdot \sinh \gamma\, l + I_1 \cdot \cosh \gamma\, l$$

und — sofern die Last Z_2 angepasst ist, d. h. $Z_2 = Z$:

$$U_1 = U_2 (\cosh \gamma\, l + \sinh \gamma\, l) = U_2 \cdot \mathrm{e}^{\gamma l} \qquad (1)$$

Wenn die Leitungskonstanten R, L, G und C bekannt sind, lassen sich die Eigenschaften dieses Stromkreises aus den Grundgleichungen berechnen.

Der Längswiderstand R (für den Doppelleiter) kann mit Hilfe des Wirbelstromfaktors [1]) aus dem Gleichstromwert R_0 berechnet werden [2]). Je nach dem Zustand der Schienenverbinder beträgt der Wert R_0 ca. 0,06...0,1 Ω km, wobei für die Rechnung vorsichtshalber der grössere Wert einzusetzen ist.

Die Induktivität L setzt sich zusammen aus der inneren und der äusseren Induktivität:

$$L = L_i + L_a \quad \text{H/km}$$

Die innere Induktivität L_i ist stark von der Frequenz abhängig und kann wiederum mit Hilfe des Wirbelstromfaktors berechnet werden [3]). Die äussere Induktivität ist von der geometrischen Anordnung abhängig, kann jedoch ebenfalls je nach der Stromverteilung in der Erde verschiedene Werte annehmen, die jedoch nur unwesentlich um einen Mittelwert schwanken.

Die Ableitung ist von der Frequenz unabhängig innerhalb des Bereiches der Frequenzen, die für längere Abschnitte überhaupt in Frage kommen. Dagegen ist dieser Wert sehr stark abhängig von der Witterung, der Temperatur, dem Zustand des Schotterbettes und der Schwellen, sowie der Art der Isolierung der Schienen. Im allgemeinen rechnet man nicht mit der Ableitung, sondern mit den Widerstandswerten R_{Bt} zwischen den Schienen, wobei als unterste Grenzwerte, bei guter Pflege des Gleises, mit 2,5 Ωkm auf der Strecke und, infolge der grösseren Verschmutzung, für Stationsgleise mit 1,5 Ωkm gerechnet werden kann. Diese Werte gelten sowohl für Holzschwellen als auch für Eisenschwellen mit Isolierzwischenlagen zwischen Schiene und Schwelle. Als Höchstwert können etwa 25 Ωkm betrachtet werden, wobei dieser Wert bei Isolationszwischenlagen zwischen isolierter Schiene und Schwelle auf weit höhere Werte wachsen kann. Umgekehrt kann der angegebene niedrigste Wert unter ungünstigen Umständen, beispielsweise in feuchten Tunnels, so weit unterboten werden, dass Schienenstromkreise trotz guter Pflege des Gleises überhaupt nicht mehr anwendbar sind.

---

[1])

$$x = \frac{r}{2}\sqrt{\frac{\omega}{2} \cdot \frac{\mu}{\varrho}}$$

darin sind

μ Permeabilität,
ϱ spezifischer Widerstand des Schienenmaterials,
r Radius eines Kreises, dessen Umfang gleich ist wie der Umfang des Schienenprofils.

[2]) $R \approx R_0\ (1 + 1/3\ x^4)$ für $x < 1$
$R \approx R_0\ (x + 1/4)$ für $x > 1$

[3])

$$L_i = \frac{R_0}{\omega}\, x$$

Charakteristische Werte des abgeglichenen Schienenstromkreises ($Z_2 = Z$) Tabelle I

f	[Hz]	0	50	100	500	1000	5000	10 000
R	[Ω/km]	0,1	1	1,5	3,4	4,8	10,9	15
L	$(\mathrm{H/km})^{-3}$		4,4	3,4	2,1	1,75	1,35	1,25
$R_{Btm} = \frac{1}{G}$ [Ωkm]	Station	1,5 unabhängig von f $\left(G_{max} = 0{,}66 \frac{1}{\Omega\mathrm{km}}\right)$						
	Strecke	2,5 unabhängig von f $\left(G_{max} = 0{,}04 \frac{1}{\Omega\mathrm{km}}\right)$						
Z [Ω]	Station	0,388	1,62	1,98	3,34	4,24	8,10	10,96
Z [$<$]			26,2	27,4	31,8	33,8	37,8	40
Z [Ω]	Strecke	0,500	2,07	2,56	4,31	5,49	10,47	14,14
α [N/km]	Station	0,258	0,95	1,17	1,91	2,36	4,27	5,63
	Strecke	0,21	0,75	0,91	1,44	1,82	3,30	4,31
e^{α}	Station	1,29	2,58	3,22	6,73	10,5	71,3	278
	Strecke	1,23	2,12	2,48	4,3	6,1	27,1	74
β [Rad/km]	Station		0,483	0,609	1,15	1,55	3,31	4,65
	Strecke		0,37	0,47	0,89	1,22	2,56	3,62

Die Kapazität kann aus den geometrischen Werten des Gleises näherungsweise berechnet werden. Es zeigt sich jedoch, dass selbst bei 10 kHz der Wert ωC vernachlässigbar klein ist gegenüber den möglichen Werten der Ableitung

$$G = 0{,}04 \cdot 1/\Omega\mathrm{km}.$$

Für einige im wesentlichen interessierende Frequenzen sind in Tabelle I die charakteristischen Werte des Schienenstromkreises zusammengestellt. Sämtliche Werte, mit Ausnahme des Wellenwiderstandes, sind auf den km als Längeneinheit bezogen. Der Wellenwiderstand Z selbst ist unabhängig von der Länge. Als Bettungswiderstand wurden die zwei Werte angenommen, die erfahrungsgemäss für Stationsgleise, bzw. Streckengleise als Minimalwerte eingehalten werden können; dem entsprechen jeweils auch zwei verschiedene Werte für Z, α und β.

Der als Belastung des Systems auftretende Widerstand Z_2 ist der Widerstand der Relaisspule. Damit das Relais den belegten vom freien Zustand des Gleises unterscheiden kann, müssen zwei Bedingungen erfüllt werden:

a) Wenn das Gleis frei ist ($R_s = \infty$), muss die Spannung U_2 am Relais grösser sein als der Wert U_A, bei dem das Relais gerade noch seinen Anker anziehen kann. Dieser Minimalwert tritt auf bei der niedrigstmöglichen Spannung der Stromquelle U_{om} und bei kleinstem Bettungswiderstand R_{Btm}.

b) Wenn das Gleis belegt ist ($R_s = 0{,}5 \ldots 1\ \Omega$), muss die Spannung U_2 am Relais kleiner sein als der Wert U_a, bei dem das Relais noch sicher abfällt, und zwar bei der höchstmöglichen Spannung an der Stromquelle U_{oM} und dem grössten Bettungswiderstand R_{BtM}.

Setzt man:

$$\frac{U_A}{U_a} = q \qquad \frac{U_{oM}}{U_{om}} = \mu \qquad \frac{U_{2M}}{U_{2m}} = u$$

so erhält man die drei Qualitätsfaktoren: q für das Relais, μ für die Stromquelle und u für die Bettung. u stellt die Variation der Spannung am Relais dar, die durch die Variation des Bettungswiderstandes hervorgerufen werden kann. Die Rechnung ergibt dafür eine sehr komplizierte Exponentialfunktion von γ. Mit diesen Faktoren ist dann:

$$R_s = Z_x \frac{1}{\mu\, q\, u - 1}$$

Dabei ist Z_x der an der Shuntstelle gemessene Widerstand zwischen den Schienen bei niedrigstem Widerstand der Bettung. Dieser Wert ist abhängig von der Stelle, wo man den Shunt als vorhanden betrachtet, wobei x von 0 bis l ändern kann. Es lässt sich durch die Rechnung zeigen, dass die günstigsten Verhältnisse dann angetroffen werden, wenn $Z_1 = Z_2$ ist und diese beiden Werte zwischen den Werten von Z liegen, die für minimale und maximale Bettungswiderstände berechnet wurden.

Der maximale Shuntwiderstand R_s kann als ein Mass für die Qualität des Schienenstromkreises betrachtet werden. Er begrenzt unter sonst gegebenen Verhältnissen die mögliche Länge l des Gleisabschnittes.

Auf Grund der Gl. (1) könnte man glauben, dass die Länge des Abschnittes bei angepassten Werten überhaupt keine Rolle spiele, sofern man nur gewillt ist, am Eingang die nötige Energie zur Verfügung zu stellen. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Ist U_A die Anzugspannung des Relais, so berechnet sich die notwendige Spannung an der Stromquelle, sofern optimale Anpassung vorliegt, zu:

$$U_0 \approx 2\ U_A\ (\sinh \gamma\, l + \cosh \gamma\, l) = 2\ U_A \cdot e^{\gamma l}$$

Bei Belegung des Gleises errechnet sich dann die Leistung zu

$$P = \frac{U_0^2}{Z_1}$$

Da die Spannungsdifferenz an den Schienen ohnehin nicht in beliebiger Höhe zulässig ist, die Dämpfung besonders bei höheren Frequenzen eine grosse Rolle spielt, sowie die Shuntempfindlichkeit einen vorgegebenen Wert nicht unterschreiten darf, ist auch der Länge des Stromkreises eine Grenze gesetzt. Die Möglichkeit, die am Ende ankommenden Zeichen zu verstärken, besteht grundsätzlich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass dann auch der auf dem Gleis mögliche Störpegel mitverstärkt wird, weil das Aussieben der gewünschten Frequenz in sicherungstechnisch einwandfreier Form kaum möglich ist.

2. 3 Ausgeführte Schienenstromkreise

Da in der Schweiz die Traktion mit $16^2/_3$ Hz vorwiegt, lag es nahe, die Schienenstromkreise mit Gleichstrom zu betreiben. Dies hat den Vorteil, dass das unumgänglich not-

wendige Vorhandensein der Stromquelle leicht zu erfüllen ist. Akkumulatoren in Pufferladung dürfen für den Zweck als zuverlässig genug betrachtet werden.

Theoretisch sollte, um eine einigermassen gute Anpassung zu erreichen, mit Relais von etwa 0,3 Ω gerechnet werden. In den Vereinigten Staaten sind effektiv Relais von 4 Ω verwendet worden, die mit einer Leistung von 0,02 W ihren Anker anziehen. Batteriespannung und Vorschaltwiderstand betragen dann 2 V bzw. 3 Ω. Obwohl die Anpassung nicht ideal ist, sind damit, allerdings mit $R_s = 0{,}15\ \Omega$, schon Gleisabschnitte bei Dampf- oder Dieseltraktion von mehreren km frei gemeldet worden. Die Tatsache, dass das Gleis bei elektrischer Traktion als Rückleitung des Traktionsstromes dient, zwingt jedoch zur Anwendung von Relais mit grösserer Induktivität in der Spule, um die Beeinflussung des Relais durch den Traktionsstrom zu unterbinden. In der Schweiz wurde daher eine Nennspannung von 12 V– gewählt ($\mu = 1{,}6$) und bei langen Abschnitten wird das Relais mit einer Spule von 50 Ω versehen, weiterhin noch geschützt durch eine vorgeschaltete Drosselspule. Das Relais zieht bei 1 V an; seine Anzugleistung beträgt 0,02 W ($q = 1{,}7$). Sofern die Blockbedingung nicht durch eine besondere Blockeinrichtung übertragen wird, ist das Relais mit einem polarisierten System ausgerüstet, das einen besonderen Kontaktsatz trägt. Innerhalb der Stationen werden Relais leichterer Bauart verwendet deren Anzugleistung noch zulässig ist, obwohl sie ein Vielfaches derjenigen des obenerwähnten Relais beträgt.

Da die beiden Schienen voneinander galvanisch getrennt sein müssen, kann dem Rückstrom für die Traktion ohne besondere Massnahmen nur eine Schiene zur Verfügung gestellt werden, was infolge der hohen Traktionsspannung genügt. Bei Einspurstrecken, speziell in Steigungen, ist es jedoch gelegentlich nötig, mit der geerdeten Schiene ein Kupferseil parallel zu führen.

Bei direkten Kurzschlüssen mit dem Fahrdraht können erhebliche Spannungen in den Schienen auftreten, so dass bei längeren Abschnitten alle 200 m sogenannte Spannungssicherungen eingebaut werden, die bei ca. 1200 V ansprechen und verschweissen, so dass eventuell an den Schienen arbeitendes Personal geschützt ist (kurze Ansprechzeit) (Fig. 4).

Aus sicherungstechnischen Gründen ist darauf zu achten, dass dort, wo zwei Abschnitte aneinanderstossen, die Rückleitung und die isolierte Schiene jeweils vertauscht werden (siehe Fig. 2). Damit wird bezweckt, dass an jedem Isolierstoss Spannung auftritt, so dass sein Defekt (z. B. durch Überwalzen der isolierenden Zwischenlagen) zur Erdung der anschliessen-

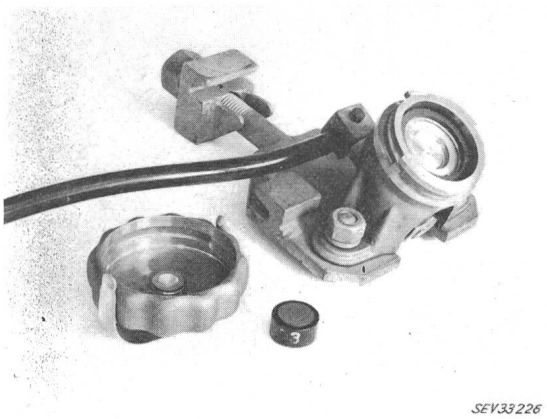

Fig. 4
Spannungssicherung

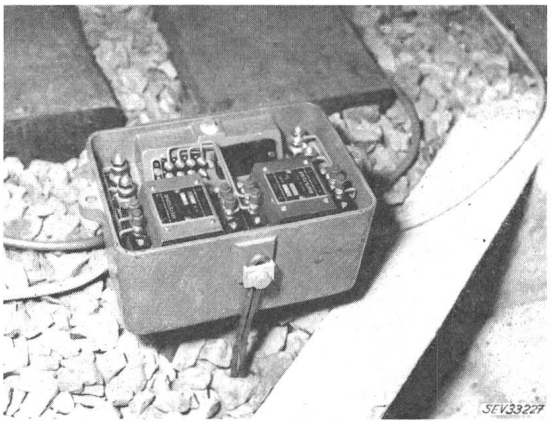

Fig. 5
Anschlußstelle bei einem Isolierstoss mit den zwei Anschlusstransformatoren

den isolierten Schiene und damit zur Belegung des Abschnittes führt. Dadurch wird der Fehler bemerkt und kann behoben werden, bevor er eine Gefährdung herbeiführt. Da die Weichen jedoch ohnehin zu einem Wechsel der isolierten Schiene gegenüber der geerdeten zwingen, lässt sich nicht vermeiden, dass doch gelegentlich Abschnitte so zusammenstossen, dass ein Wechsel der Isolierung nicht möglich ist. Es bleiben also immer einige Isolierstösse unüberwacht. Ein weiterer Nachteil, der besonders dem Gleichstromsystem anhaftet, besteht darin, dass man in der Anpassung des Widerstandes Z_1 bei gegebenem Aderdurchmesser nicht frei ist. Wenn man nicht die Anordnung separater Stromquellen und Relaisgruppen in Relaisschränken, die im Bahnhofareal verteilt aufgestellt werden, in Kauf nehmen will, ist die Entfernung der vom Stellwerk aus angeschlossenen Abschnitte beschränkt. Ferner wird die Anwendung von Gleichstrom ganz unmöglich, wenn Gleichstromtraktion vorliegt oder der Boden mit starken, vagabundierenden Strömen verseucht ist. Schliesslich leidet das Gleichstromsystem daran, dass unter ungünstigen Umständen das System Schiene/Schwelle/Schiene wie ein Akkumulator wirkt, der sich unter dem dauernd fliessenden Querstrom zwischen den Schienen auflädt. Wenn der Stromkreis unterbrochen wird, kann unter Umständen das Relais noch längere Zeit erregt bleiben. Diesen Nachteilen kann begegnet werden durch Anwendung von Wechselstrom statt des Gleichstromes als Energiequelle für die Schienenstromkreise.

Die Vorteile dieses Systems liegen auf der Hand: Durch transformatorische Anschaltung an das Gleis kann das Eindringen von Gleichstrom in die Apparate der Station verhindert werden. Anzapfungen an den Transformatorwicklungen gestatten eine optimale Anpassung sowohl von Z_1 als auch von Z_2. Die Distanzen zwischen Stromquelle und Gleisabschnitt, bzw. Gleisabschnitt und Relais spielen praktisch keine Rolle mehr (Fig. 5).

Indem die niedervoltige Wicklung des Gleistransformators eine Mittelanzapfung erhält, die mit der entsprechenden Mittelanzapfung des Transformators des Nachbarabschnittes verbunden wird, ergibt sich die Möglichkeit, dem Traktionsrückstrom beide Schienen zur Verfügung stellen zu können. Dies bietet gerade bei Bahnen mit Gleichstromtraktion (grosse Leistung bei kleiner Spannung) einen bedeutenden Vorteil. Ferner ist die Symmetrie des Systems erwünscht (Fig. 6).

Damit der Kern dieser Transformatoren nicht übererregt werden kann, wird er mit einem Luftspalt versehen, weshalb die ganze Einrichtung «Drosselstoss» genannt wird.

Bei Traktion mit $16^2/_3$ Hz hält sich die Impedanz der Schiene in erträglichen Grenzen, so dass die Anwendung von Drosselstössen nicht notwendig ist. Die einseitige Isolierung wurde daher in der Schweiz beibehalten, da sie ermöglicht, auch die Erdung des Tragwerkes und anderer metallischer Konstruktionsteile in derselben Weise wie bei Gleichstrom-Schienenstromkreisen vorzunehmen.

Bei der Wahl der Frequenz für den Wechselstrom-Schienenstromkreis ist die grosse Dämpfung bei hohen Frequenzen zu beachten, die eine Grenze bei etwa 1000 bis 3000 Hz setzt. Die exponentielle Zunahme des Energiebedarfs in Funktion der Länge des Gleisabschnittes, der freigemeldet werden soll, weist ebenfalls auf niedrige Frequenzen. Dort liegt die Grenze infolge der technischen Frequenzen und ihrer Harmonischen, die speziell bei Gleichrichterbetrieb sehr ausgeprägt sein können, bei ca. 120 Hz. Die Kollektorfrequenzen der Traktionsmotoren, die die ganze Skala durchlaufen, und noch mehr die oberen Harmonischen, die von Gleichrichterlokomotiven erzeugt werden, müssen ebenfalls als mögliche Störfaktoren betrachtet werden.

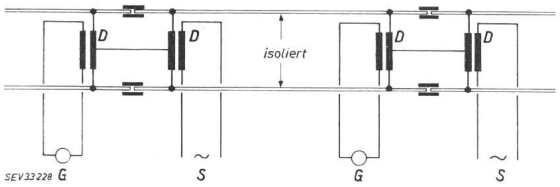

Fig. 6
Schaltung eines «Drosselstosses»
D Drosselspule mit Sekundärwicklung; *G* Gleisrelais; *S* Stromquelle

Stromkreise mit 2000...3000 Hz werden mit Erfolg in Frankreich angewendet, wobei mit verschiedenen Frequenzen gleichzeitig verschiedene Indikationen für den Streckenblock übertragen werden. Durch Anwendung verschiedener Frequenzen wird auch das Übersprechen zwischen den benachbarten Gleisen bei Doppelspur unwirksam gemacht. Die notwendigen Filter, um die verschiedenen Frequenzen auseinander zu halten und den Einfluss von Störströmen zu unterdrücken, lassen sich bei diesen Frequenzen mit bescheidenen Kosten herstellen. Es muss jedoch beachtet werden, dass ein defekter Kondensator in einem Filter die Wirkung des Filters zerstört und damit unerwünschten Spannungen und Frequenzen den Zutritt zum Relais verschafft. Bei den Schienenstromkreisen in den Stationen zwischen Genf und der Schweizergrenze, die mit 1000 Hz betrieben werden, hat man diesen Nachteil durch zwei Kondensatoren, die in Serie im Stromkreis liegen, beseitigt. Der Defekt eines Kondensators verstimmt den Schwingungskreis, so dass der Defekt entdeckt werden kann. Trotzdem ist die Anwendung dieser Frequenz in der Schweiz vereinzelt geblieben.

Bei Anwendung der niedrigen Frequenz von z. B. 125 Hz kann der Einfluss fremder Frequenzen dadurch vermieden werden, dass man Mehrphasenrelais, z. B. Ferraris- oder Drehankerrelais mit Hilfsphase, verwendet. Durch Umkehr einer Phase um 180° und Verwendung von Dreilagenrelais kann eine weitere Indikation über das Gleis übertragen werden. Liefert der Generator Drehstrom, so entstehen 3 unabhängige Systeme dieser Art. Dieses System bedingt, dass der Drehstrom längs der Strecke nachgeführt wird. Die Hilfsphase muss der Drehung der Phase des Schienenstromkreises längs der Strecke angepasst werden. Da die drei Phasen um

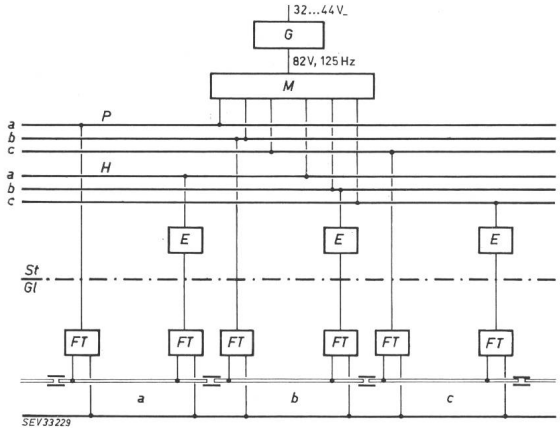

Fig. 7
Blockschema und Anordnung der Isolierungen bei Anwendung von Schienenstromkreisen mit phasenverschobenem Code
Die Rückleitung enthält keine Isolierstösse
G Generator; *M* Modulator; *E* Empfänger-Relais; *P* Hauptphase; *H* Hilfsphase; *a, b, c* 3 Phasen des Codes; *St* im Stellwerk; *FT* Filtertrafo; *Gl* am Gleis

120° gegeneinander verschoben sind, ist die Möglichkeit gegenseitiger Beeinflussung bei langen Abschnitten doch zu beachten.

Die Lösung, die man für dieses Problem in der Schweiz gefunden hat, liegt auf einer anderen Linie. Der Frequenz von 125 Hz wird ein Code überlagert, der die Relais beeinflusst. Die Empfangsapparatur besteht aus zwei normalen Relais der Sicherungstechnik, die den freien Zustand des Streckenabschnittes nur dann angeben, wenn der vorgeschriebene Code vorhanden ist. Somit wird auch bei Dauerstrom der Abschnitt nicht frei, sondern als gestört gemeldet.

Sowohl in den Stationen als auch auf der Strecke werden mehrere Systeme mit gegenseitig phasenverschobenen Codes verwendet (Fig. 7). Wenn zwei solche Systeme bei einem Isolierstoss aneinander grenzen und dieser Isolierstoss defekt wird, bedeutet dies für die beiden angrenzenden Abschnitte Dauerstrom, so dass beide Abschnitte als gestört gemeldet werden. Dies hat zur Folge, dass die Vertauschung von isolierter und geerdeter Schiene bei den Isolierstössen nicht mehr notwendig ist; die Rückleitung für den Traktionsstrom kann ohne Isolierstösse ungestört durchlaufen, wodurch ein wesentlicher Teil der Isolierstösse überflüssig wird.

Dies bedeutet nicht nur eine Einsparung beim Bau einer solchen Anlage, sondern die kleinere Zahl von Isolierstössen bedeutet auch für den Bahndienst eine erwünschte Verringerung von Unterhaltarbeiten (Fig. 2 und 8).

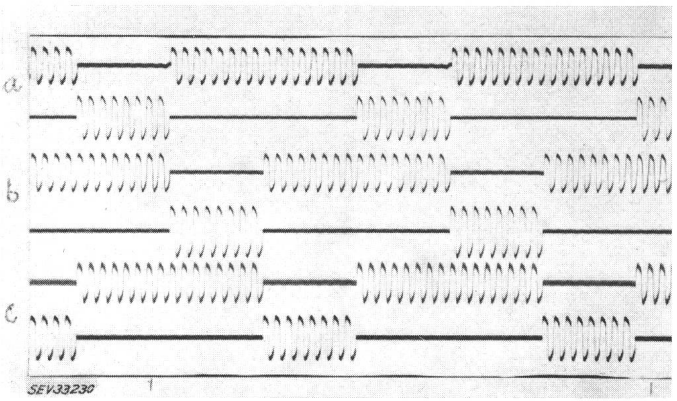

Fig. 8
Oszillogramm der Phasen und Hilfsphasen der Schienenstromkreise mit dreiphasig verschobenem Code

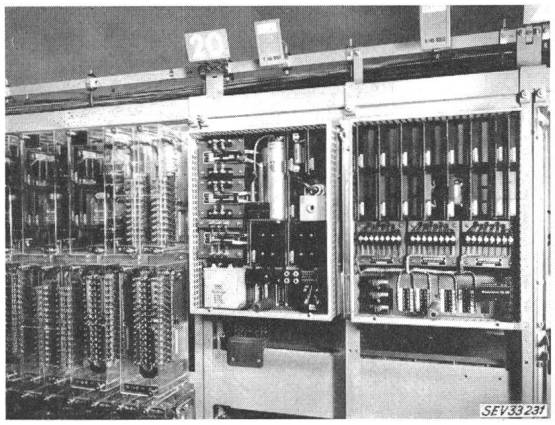

Fig. 9
Relaisraum Immensee

Als betriebssichere Stromquelle dient die Batterie der Station, indem aus dem Gleichstrom mit elektronischen Mitteln Wechselstrom hergestellt wird. Die Wechselstromspannung ist stabilisiert, und zwar derart, dass bei einem Defekt des Stabilisators die Spannung nicht ansteigen kann. Damit ist der Faktor μ auf etwa 1,05 herabgesetzt. An diese Spannung ist auch der elektronische Taktgeber für den Code angeschlossen, so dass nicht nur die Trägerfrequenz mit 125 Hz, sondern auch die Codefrequenz konstant gehalten wird. Aus einem solchen Generator können etwa 45 Stationsabschnitte oder die entsprechenden Streckenabschnitte alimentiert werden. Diese Apparate sind in steckbare und austauschbare Einheiten eingebaut, wie dies heute praktisch für alle wichtigen Elemente der Stellwerkschaltungen üblich ist (Fig. 9).

Schienenstromkreise dieser Art wurden erstmals im Jahr 1962 auf der Gotthardstrecke eingeführt. Der Gotthardtunnel von 15 km Länge war bis dahin in zwei Abschnitte unterteilt, wobei in der Mitte eine Spurwechselstelle eingebaut war. Hinter dieser Spurwechselstelle befindet sich noch ein mit Gleichstrom betriebener Schienenstromkreis von etwa 1 km Länge. Es ist geplant, den Tunnel durch Einbau von zwei Spurwechselstellen in drei Abschnitte zu unterteilen statt wie bisher nur in zwei und jeden Abschnitt von je 5 km in 4 Abschnitte mit Schienenstromkreisen aufzulösen.

Um die lange Bauzeit der Spurwechselstelle nicht abwarten zu müssen, wurden zunächst sofort die zwei an die Tunnelportale anschliessenden Strecken von je 5 km mit Schienenstromkreisen in die je 4 Blockabschnitte unterteilt. Dabei ist hervorzuheben, dass sich innerhalb des Tunnels auf dieser Strecke keine Relais befinden; sämtliche Apparate inkl. der Apparate für die Steuerung der Blocksignale sind in den angrenzenden Stationen Göschenen und Airolo konzentriert. Dies wurde erreicht mit Adern normalen Querschnitts und es ist vorgesehen, auch die weiteren je zwei Abschnitte bis zur Tunnelmitte in die beiden Nachbarstationen zu konzentrieren. Dies hat für den Unterhalt Vorteile, die nicht hoch genug eingeschätzt werden können.

Die einzelnen Abschnitte haben eine Länge von ca. 1,2 km und sind an den Enden über Transformatoren mit dem Übersetzungsverhältnis 1:14 an die Leitung angeschlossen. Die Transformatoren sind so dimensioniert, dass durch eindringenden Fremdstrom mit niedriger Frequenz eine Übersättigung des Transformators und damit eine Belegtmeldung bei freiem Gleis eintritt (Fig. 5). Ausserdem sorgt ein Filter dafür, dass fremde Frequenzen ferngehalten werden.

Im Gotthardtunnel hat sich gezeigt, dass nicht nur die Bettungswiderstände der einzelnen Abschnitte untereinander sehr verschieden sind, sondern auch die Bettung einzelner Abschnitte aussergewöhnlich stark schwanken kann, je nachdem ob trockenes oder feuchtes Wetter (z. B. Schneeschmelze) herrscht. Einen weiteren Beitrag zu den ungünstigen Verhältnissen liefert der Schnee, der an den Wagen hängen bleibt und je nach Aussentemperatur mehr oder weniger weit in den Tunnel geschleppt wird, bevor er schmilzt und auf das Gleis fällt. Die extremsten Werte, die gemessen wurden, betrugen 0,7 bzw. 70 Ωkm; der tiefste Wert liegt also weit unter dem normal gültigen Minimalwert von 2,5 Ωkm, den der Bahndienst aufrecht erhält.

Da so grosse Änderungen durch eine mittlere Anpassung von Z_1 allein nicht bewältigt werden können, die Apparate selbst aber wegen der verlangten Austauschbarkeit keine Anpassung zulassen, wurde der Bettungswiderstand künstlich auf 2 Ωkm beschränkt. Zu diesem Zweck wurde alle 200 m ein Widerstand von 10 Ω, also total 5 Widerstände pro Abschnitt zwischen die Schienen eingebaut und dadurch der Bettungswiderstand in den Grenzen von 0,5...2 Ωkm gehalten. Dies ist jedoch nur zulässig, wenn dafür gesorgt ist, dass die 5 Widerstände tatsächlich wirksam sind. Dies wird mittels eines kleinen Verstärkers geprüft, der die Eigenschaft hat, den Code bei zu hoher Spannung zu zerstören.

Mit dieser Massnahme wurden auch Betriebsstörungen infolge Übersprechens auf der Doppelspur oder im Stellwerkkabel von 5 km Länge beseitigt.

Immensee, der nördliche Fusspunkt der Gotthardbahn, ist die erste Station, die kürzlich mit dreifach phasenverschoben codierten Schienenstromkreisen ausgerüstet wurde. Es handelt sich um 40 Isolierabschnitte.

Es ist bekannt, dass sich unbenützte Schienen früher oder später, je nach den atmosphärischen Bedingungen, mit einer nichtleitenden Haut überziehen. Diese Haut wird — solange sie noch neu genug ist — von der ersten bewegten Achse beseitigt. Sie kann jedoch dazu führen, dass der Shuntwiderstand praktisch unendlich wird, so dass die Belegung des Abschnittes nicht mehr gemeldet wird. In Frankreich und England sind mit Erfolg Schienenstromkreise gebaut worden, bei denen die Stromquelle stark gedämpfte Wechselstromimpulse mit grosser Anfangsamplitude (ca. 100 V) erzeugt, durch welche diese Isolierhaut der Schienen durchschlagen wird.

Fig. 10
Anschlusskasten mit Sender und Empfänger für Schienenstromkreis mit 100 kHz

Die starke Dämpfung bei hohen Frequenzen kann auch als erwünschte Eigenschaft ausgenützt werden, wenn es sich darum handelt, kurze Abschnitte auszuführen, die ähnlich wirken wie Schienenkontakte. Mit der Frequenz von 100 kHz kann ein solcher Abschnitt von ca. 30 m Länge aufgebaut werden, der keine Isolierstösse an seinen Enden benötigt, weil auch ein Kurzschluss in ca. 15 m Entfernung von der Anschlußstelle keine Wirkung mehr hat. Diesen Schienenstromkreis kann man ohne weiteres einem anderen, der mit Gleichstrom oder niedriger Frequenz betrieben wird, überlagern.

Selbstverständlich kann ein Strom mit der Frequenz von 100 kHz nicht über die normalen Kabeladern vom Stellwerk an den Ort geleitet werden, wo er benötigt wird. Deshalb befinden sich Sender und Empfänger fertig zusammengebaut und vergossen in einem kleinen Gusskasten in nächster Nähe der Anschlussstelle (Fig. 10). Vom Stellwerk aus wird der Apparatur 36 V Gleichstrom aus der vorhandenen Stellwerkbatterie zugeführt; eine weitere Ader bringt die erhaltene Indikation auf ein Relais im Stellwerk zurück. Diese Verbindung ist gegen Aderbruch, Kurzschluss, Aderberührung und Fremdstromeintritt gesichert. Es existiert auch eine 2-adrige Lösung; sie erfordert jedoch erheblich mehr Aufwand.

3. Die Achszählung

Schienenstromkreise lassen sich nicht überall anwenden, insbesondere nicht bei sehr langen Gleisen, die als ein ganzer Abschnitt freigemeldet werden sollten. Sind die Schienen auf Eisenschwellen verlegt, scheint die Achszählung trotz der heute möglichen Isolierung immer noch die billigere und daher vorteilhaftere Lösung für dieses Problem zu sein. Sie beruht bekanntlich darauf, dass die am Anfang eines Abschnittes in diesen einfahrende Achsen gezählt werden und am Ende des Abschnittes eine gleiche Zählung vorgenommen wird. Sind die beiden Resultate der Zählungen gleich, so wird die Strecke freigemeldet.

Schon im Jahr 1916 sind auf der Hauensteinlinie Versuche mit Achszähleinrichtungen gemacht worden. Die zunächst mechanischen Kontakte wurden, sobald höhere Geschwindigkeiten in Frage kamen, durch induktive Impulsgeber ersetzt. Bei diesen war ein mit Permanentmagneten vormagnetisierter Eisenkörper vorhanden, der die Schiene umschliesst. Beim Durchlauf eines Rades durch dessen obere Öffnung erfährt das Magnetfeld eine Änderung, die einen Impuls in einer auf diesem Eisenkörper sitzenden Spule erzeugt. Dieser Impuls kann zur Zählung verwendet werden. Die in der Folge der Elektrifizierung auftretenden Schwierigkeiten — weil der in der Schiene zurückfliessende Traktionsstrom zu Beeinflussungen führte — wurden, wiederum erstmals in der Schweiz, durch eine andere Lösung des Kontaktgebers zu beheben versucht. Statt den Magnetfluss um die Schiene herumzuführen, liegt nun der Permanentmagnet auf der Innenseite der Schiene parallel zu dieser. Die Polschuhe, die gleichzeitig die Spulen tragen, liegen gegenüber dem Schienenkopf, so dass der Spurkranz bei der Durchfahrt einen Impuls induziert. Diese Methode der Impulserzeugung ist noch heute bei den in der Schweiz in Betrieb befindlichen ca. 180 Achszählabschnitten üblich (Fig. 11).

Als Zähler wurde anfänglich der Drehfeldzähler von Siemens verwendet. Das Drehsystem besteht aus 3 in 120° angeordneten Magnetpaaren, zwischen denen sich ein 8-poliger Weicheisenrotor dreht. Eines der Magnetpaare besteht aus

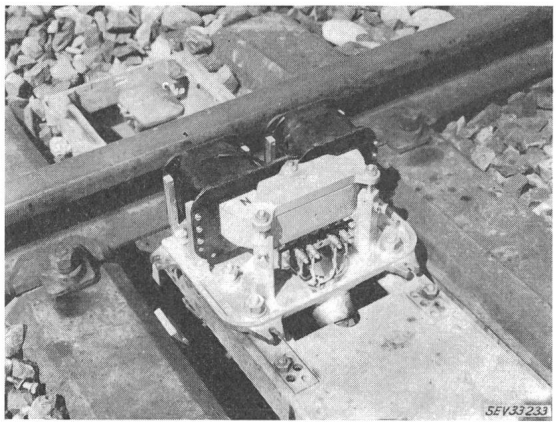

Fig. 11
Magnetischer Impulsgeber der Achszählung

Permanentmagneten, die zwei anderen sind Elektromagnete. Werden diese mit zwei zeitlich versetzten Impulsen erregt, so dreht sich der Rotor um einen Zahn weiter. Die von einem empfindlichen Relais empfangenen Impulse werden auf den Zähler weitergegeben, indem mittels eines Kondensators eine Hilfsphase erzeugt wird, die mit dem normalen Impuls das Drehfeld ergibt. Es ist ohne weiteres möglich, dass die Impulse am Eingang der frei zu meldenden Strecke den Zähler vorwärts, die Impulse am Ausgang den Zähler rückwärts laufen lassen. Bei Gleichheit der Achsen läuft also der Zähler auf 0 zurück.

Die Belegtmeldung des Abschnittes erfolgt durch Befahren eines kurzen Isolierabschnittes. Die Freimeldung ist aber nur möglich, wenn der Zähler einmal aus der Grundstellung herausgelaufen ist und nachher wieder in die Grundstellung zurückkehrt und dort in der Grundstellung verharrt.

Bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten, die heute erreicht werden, hat sich der Zähler infolge zu grosser Abnützung nicht bewährt. Deshalb wurde schon anfangs der Vierzigerjahre ein Zähler gebaut, der nur mit Relais arbeitet. Je 8 Relaispaare für die Einzählung, bzw. Auszählung gestatten, bis zu 255 Achsen zu registrieren. Die Freimeldung erfolgt, sobald der Zähler nicht mehr die Grundstellung einnimmt und die Relais beider Register bezüglich ihrer Stellung übereinstimmen. Zähler dieser Art, in Gehäuse zusammengebaut und steckbar, sind heute praktisch überall mit Erfolg in Gebrauch (Fig. 12).

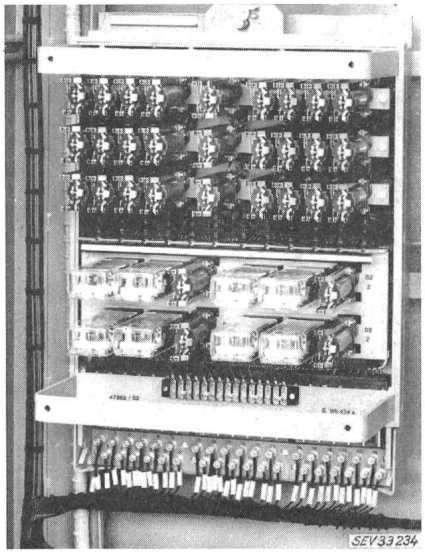

Fig. 12
Relais-Achszählregister

Für Stationsgleise hat sich diese Methode der Gleisfreimeldung als zu teuer erwiesen. Sofern die Schienen auf Eisenschwellen liegen, ist es heute möglich, diese mit Isolierzwischenlagen von der Schwelle zu isolieren. Diese Methode ist für die relativ kurzen Stationsgleise anwendbar.

Daher ist auch die Tatsache von geringer Bedeutung, dass die induktiven Impulsgeber nicht von 0, sondern erst von ca. 2 km/h an zählbare Impulse liefern und dass sie nicht richtungsempfindlich sind. Dagegen ist die Abhängigkeit der Amplitude der Impulse von der Geschwindigkeit nachteilig, ebenso die Eigenschaft der Impulsgeber, dass sie über das Profil der Schienen hinausragen (ohne zwar das Lichtraumprofil zu verletzen). Auch ergeben sich gelegentlich Schwierigkeiten in der Übertragung der Gleichstromimpulse über längere Kabel infolge des Übersprechens aus Nachbaradern.

Um allen vorkommenden Betriebsfällen genügen zu können, wurde ein neuer Impulsgeber entwickelt, der zwei Magnetfelder erzeugt, die sich unabhängig voneinander über die Schienen schliessen. Zwei Magnetsonden erzeugen pro Achse je zwei Impulshalbwellen, deren Phasenlage in Opposition steht und deren Amplitude von der Geschwindigkeit des durchlaufenden Rades unabhängig ist. Auch kann die Einrichtung, wenn gewünscht, richtungsempfindlich gemacht werden.

Die Beeinflussungen im Kabel werden dadurch ausgeschaltet, dass die Impulse als frequenzmodulierte Signale übertragen werden. Der Zähler selbst ist aus elektronischen Elementen aufgebaut, wobei nur ein Register vorhanden ist, das vor- oder rückwärts zählt.

Auch hier wird die Freimeldung davon abhängig gemacht, dass der Zähler einmal aus 0 herausläuft. Ferner wird nach der Rückkehr in die Grundstellung nicht sogleich freigemeldet, sondern es wird zunächst die Arbeitsfähigkeit sämtlicher Elemente geprüft, da irgendeiner der elektronischen Bauteile auch noch während des Zählvorganges versagt haben könnte. Zu diesem Zweck wird der Zähler im Anschluss an den Zählvorgang künstlich um einen Schritt über 0 hinaus, d. h. in die Lage 255 geführt und wieder vorwärts auf 0. Ein defektes

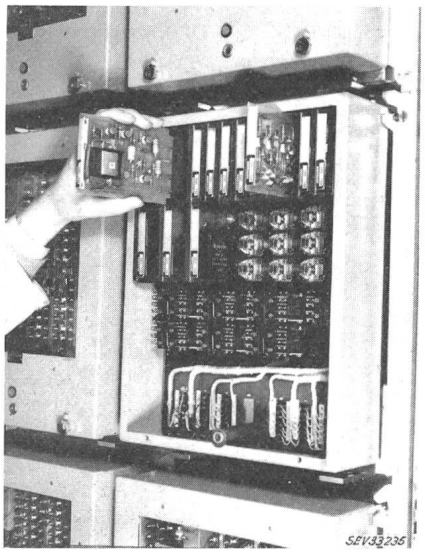

Fig. 13
Elektronisches Achszählregister

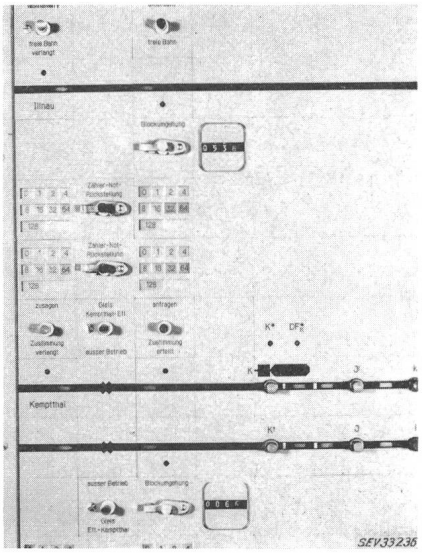

Fig. 14
Meldung der Indikation des Achszählregisters

Element würde sich bei diesem Doppelschritt in Form einer Störung melden (Fig. 13 und 14).

Dieser elektronische Zähler ist mit seinen Hilfsapparaten und Relais zu einer steckbaren Einheit zusammengebaut. Die Tatsache, dass Ende 1962 bei den Schweizerischen Bundesbahnen mehr als 250 km Streckengleise mit Achszählung und nur ca. 80 km Streckengleise mit Schienenstromkreisen ausgerüstet waren, demonstriert einenteils den grossen Einfluss der Eisenschwellen auf die Wahl des Systems, anderenteils die Bedeutung der automatischen Gleisfreimeldung (mehr als 10% der ganzen Streckenlänge des Netzes).

Die Schienenstromkreise ebenso wie die Achszählung scheinen auf den ersten Blick einfache Einrichtungen zu sein. Die Praxis zeigt aber, dass eine Menge interessanter Probleme zu lösen sind, um die nötige Sicherheit, wie auch die Zuverlässigkeit zu erreichen. Die Möglichkeit, längere Strecken so in Abschnitte zu unterteilen, dass der Zeitabstand der Züge so konstant wie möglich gehalten wird, erlaubt, die Leistungsfähigkeit der Strecke ohne grosse bauliche Massnahmen erheblich zu steigern. Dies ist für die Hauptstrecken von besonderer Bedeutung, da die Schweizerischen Bundesbahnen mit gegen 80 Zügen pro Tag und Streckenkilometer an der Spitze aller Eisenbahnverwaltungen stehen.

Literatur

[1] Bahnsicherungseinrichtungen mit Achszähler
R. Zaugg SBZ, Band 116, Heft 23, 7. Dezember 1940

[2] Neuzeitliche Sicherung des Bahnverkehrs
E. Felber SBZ, Band 128, Seite 199, 19. Oktober 1946

[3] Die Sicherungsanlage der Kreuzungsstation St. Léonard der SBB
E. Kuhn SBZ, Heft 15, 13. April 1961

[4] Über die Vergrösserung der Leistungsfähigkeit des Gotthardtunnels
Dr. K. Oehler, SBZ, Heft 37, 13. September 1962

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. *K. Oehler,* Integra Studien- & Projektierungsgesellschaft AG, 8304 Wallisellen.