

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 22: Sondernummer Elektrotechnik 1978 = Edition spéciale Electrotechnique 1978

Artikel: Die Versuche der SBB mit linienförmiger Zugbeeinflussung

Autor: Gerber, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914955>

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: 04.05.2026

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

Die Versuche der SBB mit linienförmiger Zugbeeinflussung

Von M. Gerber

1. Historische Entwicklung

Der Gedanke der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) als Mittel zur Sicherung von Zugbewegungen taucht erstaunlich früh in der Eisenbahngeschichte auf [1]¹⁾:

Bereits 1904 fanden bei den Belgischen Bahnen erste Versuche mit einem Kabel im Gleis statt. Offenbar bestanden aber Schwierigkeiten mit der Hochfrequenz-(HF-)Erzeugung und dem HF-Empfang, welche schliesslich zum Abbruch der Versuche führten. Einzelne Gedanken sind noch wesentlich älter. So stammt z. B. die Idee, den ohmschen Widerstand einer «Streckenleitung» als Messgrösse für den Minimalabstand zweier Züge zu nutzen, von 1856. Seit 1904 zeigt die Geschichte eine merkliche Belebung der Szene: Entsprechend dem Entwicklungsstand der Technik wurden verschiedene Übertragungsmedien, technische Lösungen und Zielsetzungen vorgeschlagen.

Das 1950 gegründete ORE²⁾ befasst sich seit 1958 mit der Frage der Informationsübertragung zwischen Gleis und Triebfahrzeug, um die Erfahrungen der verschiedenen Verwaltungen auf diesem Gebiet zusammenzutragen, unter anderem auch im Hinblick auf eine kybernetische Betriebsführung (automatische Steuerung des Zuglaufes von einer zentralen Betriebsleitstelle aus). Ferner soll eine Lösung als europäisches System vorgeschlagen werden, vor allem für Hauptstrecken mit internationalem Zugverkehr.

Auf der Suche nach einem europäischen System zur Hebung der Sicherheit der Eisenbahn und zur Steigerung der Zugfolge auf Strecken und Bahnhöfen setzten bald divergierende Strömungen ein. Gemeinsam befürworteten u. a. die Deutsche Bundesbahn (DB), Nederlandsche Spoorwegen (NS) und die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) ein System, welches, ausgehend von den Erfahrungen der DB mit der Versuchsanlage München–Augsburg (1965), weiterentwickelt worden war. Die Grundidee ist folgende: Das System ist der konventionellen Signalisierung überlagerbar. Den Schwerpunkt der Datenverarbeitung bildet die Rechnerzentrale an der Strecke;

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

²⁾ Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de fer in Utrecht (NL).

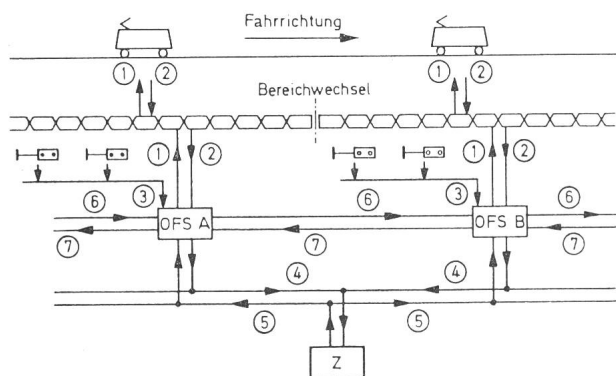


Fig. 1 Prinzipdarstellung des Informationsaustausches

OFS ortsfeste Steuerstelle

Z zentraler Betriebsrechner

1...7 Übertragungskanäle (vgl. Fig. 12)

das Triebfahrzeug ist ausführendes Organ mit einer gewissen Teilautonomie. Ferner ist das System in seiner Leistungsfähigkeit so ausgelegt, dass es in den ortsfesten Rechnerzentralen zu einem späteren Zeitpunkt an die «Kybernetik» angekuppelt werden kann, ohne dass dabei zur Erfüllung der kybernetischen Anforderungen die Schnittstelle zwischen Streckenausrüstung und Triebfahrzeug verändert werden muss. Dieser Sachverhalt wie auch der entwicklungsmässige Vorsprung dieses Systems gegenüber anderen Vorschlägen veranlassten die SBB, konkrete Versuche damit in Angriff zu nehmen [2; 3; 4]: Der Streckenabschnitt Lavorgo–Bodio (Gotthard-Südseite) wurde mit einer Anlage der Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart, ausgerüstet; dazu erhielten 6 Lokomotiven aus der Serie Re4/4^{II} (die Nrn. 11299–304) LZB-Geräte, die von der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Baden (BBC), entwickelt und gebaut worden sind. Seit 1976 verkehren fahrplanmässige Züge im LZB-Versuchsbetrieb auf diesem Streckenabschnitt.

Etwas später reifte bei den SBB der Entschluss, einen weiteren Versuch auf der Strecke Baden–Turgi–Koblenz durchzuführen. BBC erhielt den Auftrag, die streckenseitige Anlage sowie die Ausrüstung für einen der neuen Prototyp-Vorortszüge RABDe8/16 (Zug Nr. 2004) zu liefern. Der fahrplanmässige Betrieb mit LZB auf dieser Strecke ist für nächstes Jahr vorgesehen.

2. Übersicht über das Versuchssystem

2.1 Gesamtkonzept

Die Betriebsinformationen werden zusammen mit den Sicherheitsinformationen in den ortsfesten Steuerstellen zu einem gemeinsamen, integrierten Fahrbefehl verarbeitet und von dort in *einem* Telegramm auf den Zug übermittelt (Fig. 1, Kanal 1), daher auch der in der Literatur mitunter anzutreffende Name «Integriertes System» [5]. Das Antworttelegramm vom Zug an die Steuerstelle (Kanal 2) vervollständigt die Informationsverarbeitung zu einem geschlossenen Regelkreis.

Die Sicherheitsinformationen werden durch die technischen Bedingungen der Strecke, der Fahrzeuge und der Signale bestimmt (Kanal 3). Die Steuerstelle ermittelt auf Grund des Abstandes vom einschränkendsten Zielpunkt und der Streckenneigung – entsprechend den Bremseigenschaften des Zugs – eine technische Grenzgeschwindigkeit, die als Fahrbefehl bzw. zur Geschwindigkeitsüberwachung auf das Triebfahrzeug übertragen und dem Lokführer angezeigt wird.

Bei späterem kybernetischem Ausbau wird die genaue Position sowie die momentane Fahrgeschwindigkeit der einzelnen Züge über Kanal 4 einem überlagerten zentralen Betriebsrechner gemeldet. Die ortsfesten Steuerstellen erhalten dann beispielsweise vom Betriebsrechner über den Kanal 5 die Anweisung, nicht die technische Grenzgeschwindigkeit, sondern eine betrieblich gegebene Geschwindigkeit als Fahrbefehl auszugeben. Dabei entsteht im Umfang der Informationsübertragung zwischen Steuerstelle und Triebfahrzeug keine Veränderung. Lediglich die Werte der Geschwindigkeiten können verschieden hoch sein.

Über die Kanäle 6 und 7 tauschen die Steuerstellen bestimmte Informationen untereinander aus: Während der Zug sich noch im Bereich der Steuerstelle A befindet, erhält die in Fahrtrichtung folgende Steuerstelle B über Kanal 6 bereits Kenntnis über die Bremsart, die Bremsleistung (Bremsvermögen) und die Länge des Zuges, um daraus die zulässige Eintrittsgeschwindigkeit in den Steuerstellenbereich zu ermitteln. Nach rückwärts sendet die Steuerstelle B über Kanal 7 die Informationen für den ersten Fahrort in ihrem Bereich an die Steuerstelle A. Dadurch werden sprunghafte Änderungen des Telegramminhaltes Strecke-Triebfahrzeug beim Überfahren von Bereichswechseln vermieden.

Anstatt die Informationsermittlung auf das schützende Deckungssignal eines vorausfahrenden Zuges zu beziehen, kann auch der letzte vorausliegende Streckenbelegungspunkt in der Datenverarbeitung der Steuerstelle als Ausgangspunkt der Informationsermittlung für den nachfolgenden Zug gewählt werden. Die Züge folgen sich dann auf Bremswegabstand. Voraussetzung dafür ist die Ausrüstung aller Triebfahrzeuge auf dem betreffenden Streckennetz mit LZB und die Einführung einer laufenden internen Zugschlussüberwachung. Dieser sogenannte fliegende Block (auch mit «elektrischer Sicht» bezeichnet) ist im Konzept inbegriffen und stellt softwaremässig die höchste Ausbaustufe der LZB dar.

2.2 Hardware der ortsfesten Steuerstelle

Für die SBB-Versuche wurden in Lavorgo und Turgi Prozessrechner-Steuerstellen aufgebaut [6]. Bei der DB sind an der Strecke Bremen-Hamburg ebenfalls Prozessrechner-Steuerstellen eingerichtet worden [7]. Der Einsatz von serienmässigen Prozessrechnern für LZB-Zwecke ist neu. Der grosse

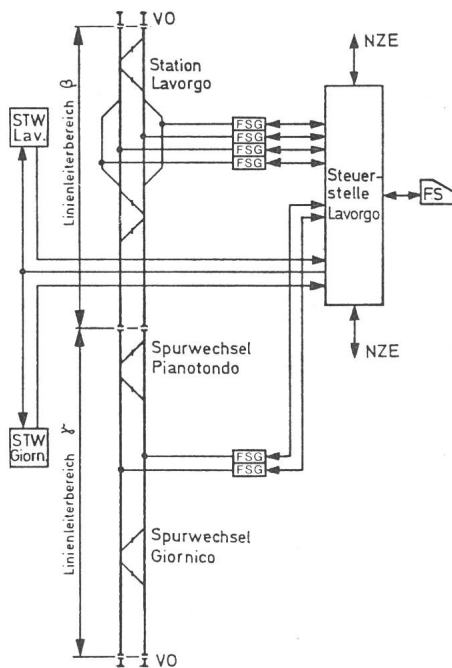


Fig. 2 Systemaufbau der Anlage Lavorgo-Bodio

- VO Vororientierungsschleife
- STW Stellwerk (Lavorgo, Giornico)
- FSG Fernspeisegerät
- FS Bedienungsfernschreiber
- NZE Nachbarzentrale (nicht ausgebaut)
- Länge des Linienleiterbereichs $\beta = 5,2$ km
- Länge des Linienleiterbereichs $\gamma = 6,7$ km
- Länge der Versuchsstrecke 11,9 km

Vorteil der Rechner besteht in ihrer freien Programmierbarkeit, wodurch sie an die wechselnden Bedingungen von Bahnhöfen und Strecken auf einfache Weise immer wieder angepasst werden können.

Früher entwickelte LZB-Anlagen der DB auf den Strecken München-Augsburg-Donauwörth, Hannover-Celle-Uelzen sowie auf der S-Bahn-Stammstrecke München basieren auf festverdrahteten Steuerstellen, welche konstruktiv nach dem Grundsatz der signaltechnischen Sicherheit ausgelegt sind. Beim Prozessrechner musste die Sicherheit gegen Gerätefehler zusätzlich geschaffen werden. Aus den verschiedenen Möglichkeiten wurde mit Rücksicht auf Sicherheit und Zuverlässigkeit das Tripelsystem (mit paralleler Datenverarbeitung von drei Rechnern und fehlersicherer Vergleichslogik) ausgewählt, sowohl für Lavorgo und Turgi wie auch von der DB für Bremen-Hamburg.

Die Rechner sind bezüglich Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit so ausgewählt, dass sie in ihrem Bereich ca. 70 Züge erfassen können. Ein Rechnerbereich kann sich bei Vollausbau auf ca. 35 km Doppelspur erstrecken, Bahnhöfe mit Rangiergleisen inbegriffen. Dabei zerfällt er aus telegraphenübertragungstechnischen Gründen in Linienleiterbereiche von max. 12,5 km Länge, Mitteleinspeisung vorausgesetzt. Den hardwaremässigen Aufbau der Anlage Lavorgo-Bodio mit ortsfester Steuerstelle, Fernspeisungen, Linienleiterbereichen usw. zeigt Fig. 2.

Das Prinzip der Ausgabe der Informationen von den drei Rechnern an die Peripherie (die Züge) und der Kontrolle auf Übereinstimmung ist in Fig. 3 dargestellt. Die hardwaremässige Sicherheit der Informationsausgabe beruht auf der Vergleichs- und Auswahllogik, welche fehlersicher aufgebaut ist (bzw. beim Versuch Lavorgo softwaremässig überwacht wird). Ein fehlerhaft arbeitender Rechner wird durch Mehrheitsentscheid erkannt und abgeschaltet. Die seriell ausgegebenen digitalen Daten werden nach Vergleich durch die Auswahllogik an die Modem-Sender durchgeschaltet, dort moduliert und über Fernmeldekabel und Fernspeisegeräte in Richtung Züge und – so vorhanden – Nachbarzentralen übertragen.

Von der Peripherie (Züge, Stellwerk, evtl. Nachbarzentralen) ankommende Daten werden in Modem-Empfängern demoduliert und nach Serie-Parallelwandlung über Multiplexer in die Rechner eingegeben (Fig. 4). Zur Eingabe von vorübergehenden Langsamfahrstellen wie auch zum Ausdruck von Betriebs- und Störungsmeldungen dient ein Fernschreiber, welcher an die Rechner angeschlossen ist. Einen Eindruck vom apparatemässigen Umfang der Steuerstelle Lavorgo vermittelt Fig. 5.

2.3 Software der ortsfesten Steuerstelle

Der gesamte Telegrammverkehr zwischen Strecke und Triebfahrzeug wird von der ortsfesten Steuerstelle gesteuert, daher ihre Bezeichnung. Die einzelnen Triebfahrzeuge innerhalb der Linienleiterbereiche werden zyklisch nacheinander aufgerufen und geben unmittelbar nach dem Aufruf ihre Antwort mit ihrer Positionsmeldung, ihrer augenblicklichen Ist-Geschwindigkeit und weiteren Sicherheits- und Betriebsinformationen ab. Für die Zyklusdauer gilt folgendes: Ein Triebfahrzeug darf nach ORE-Pflichtenheft von einer Informationsaufnahme bis zur nächsten im allgemeinen keinen grösseren Weg als 50 m zurücklegen. Dadurch ist das Prinzip der quasi-

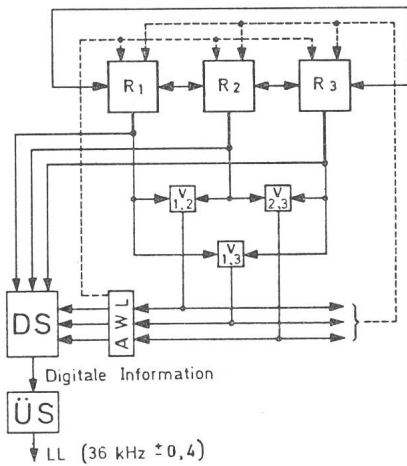


Fig. 3 Ausgabe der Informationen

- R_1, R_2, R_3 Rechner 1...3
- $V_{1,2}$ Vergleich Rechner 1 mit Rechner 2
- $V_{1,3}$ Vergleich R 1 mit R 3
- $V_{2,3}$ Vergleich R 2 mit R 3
- AWL Auswahllogik
- DS Durchschaltung, von den Vergleichen gesteuert
- $ÜS$ Übertragung, Modem und Sender

kontinuierlichen Beeinflussung gewährleistet. Die informationlose Wegstrecke von 50 m ist sowohl massgebend für die Telegramm-Zyklendauer als auch für die Zeiten zum Sammeln und Verarbeiten der Primärinformationen (Stellung der Signale, Weichen usw.). Hierzu ein Beispiel: Bei $V = 200$ km/h und der festgelegten Telegrammlänge von 69,58 ms darf der Telegrammzyklus höchstens 13 Fahrzeuge umfassen.

Die ganze Software ist baukastenmässig aufgebaut. Bei Änderungen sind somit nur einzelne Modulen betroffen, und es muss auch nicht ein Sicherheitsnachweis über die gesamte Software erbracht werden, sondern nur für den einzelnen Modul.

Im folgenden sei auf das Prinzip der beiden wichtigsten Modulen eingegangen: die Adressierung der Telegramme und die Fahrbefehlbildung.

2.3.1 Adressierung

Damit jedes Triebfahrzeug die richtige Nachricht erhält, müssen die Telegramme mit Adressen versehen werden. Die Adressierung ist bei der DB rein ortsselektiv, bei den SBB dagegen ortsselektiv mit einer zusätzlichen Verarbeitungsnummer. Dies hat folgende Bewandnis:

Der ganze Linienleiterbereich wird datenverarbeitungsmässig in nummerierte 100-m-Abschnitte aufgeteilt. Alle 100, 200 oder 300 m ist im Linienleiter eine Phasenkehrstelle verlegt, welche zur Synchronisierung der fahrzeugeigenen Wegmessung dient. Diese Phasenkehrstellen können mit Kreuzungsstellen des Linienleiters gebildet werden, sofern der Linienleiter als geschlossene Kabelschleife verlegt wird, oder, bei nicht geschlossenen Kabelschleifen, mit Phasenkehrtransformatoren, wobei als Rückleiter die Schienen dienen [8]. Das Prinzip der kompatiblen Verlegungsarten B3 und A3 ist in Fig. 6 veranschaulicht. Die DB bevorzugt die Verlegungsart B3, während die SBB mit Rücksicht auf den häufigen Schienenwechsel am Gotthard das Kabel nach A3 verlegt haben.

Die ortsselektive Adressierung verwendet als Adresse die Nummer des 100-m-Abschnittes, in welchem das Triebfahrzeug

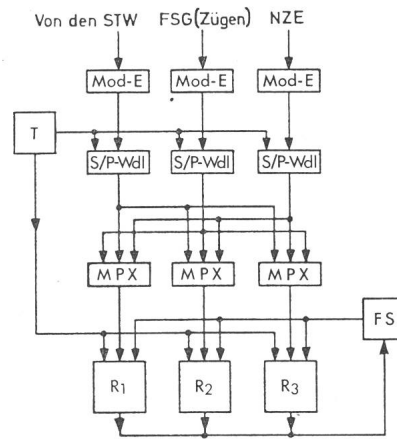


Fig. 4 Eingabe der Informationen

- $Mod-E$ Modem Empfänger
- $S/P-Wdl$ Serie-Parallelwandler
- T Taktgeber
- MPX Multiplexer
- R_1, R_2, R_3 Rechner 1...3
- NZE Nachbarzentrale (nicht ausgebaut)
- FS Bedienungsfernschreiber
- STW Stellwerk
- FSG Fernspeisegerät

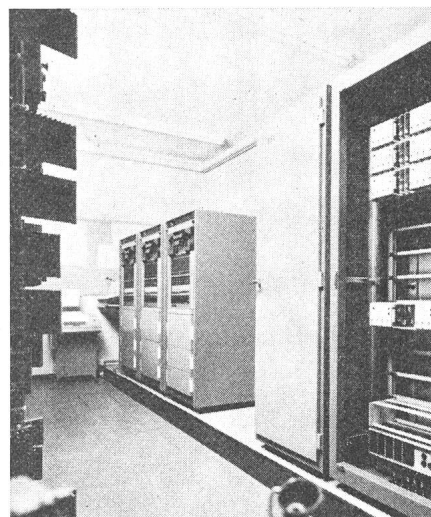


Fig. 5 Steuerstelle Lavorgo

- Hintergrund: 3 Rechner, links davon Fernschreiber
- Vordergrund rechts: Schränke für Vergleichs- und Auswahllogik (geschlossen) sowie Datenein- und -ausgabe (offen)

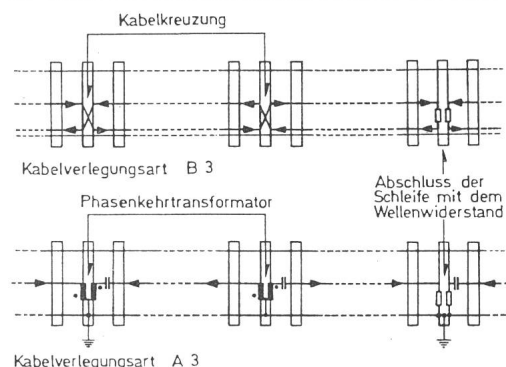


Fig. 6 Prinzip der Kabelverlegungsarten A3 und B3

geortet wurde. Dieses Verfahren setzt voraus, dass das Querübersprechen von Gleis zu Gleis klein ist bzw. dass die Übersprechdämpfung mindestens so gross ist wie die zulässige Dynamik des Übertragungssystems von höchstens 25 dB.

Es scheint, dass die DB mit der Verlegungsart B3 bezüglich Übersprechen etwas besser liegt als die SBB mit A3. Bestimmend ist jedoch, dass bei den SBB die Bahnerde zugleich Wassererde ist. Daher verteilt sich der Linienleiter-Rückstrom je nach den örtlichen Erdungsverhältnissen und insbesondere in Weichenzonen auch auf die Nachbargleise, so dass das Querübersprechen Werte erreicht, welche die rein ortsselektive Adressierung verunmöglichen. Die Verhältnisse können mit systematischem Erden der Schienen, Masten und Phasenkehrtransformatoren wesentlich verbessert werden. Trotzdem bleibt das Problem grundsätzlich bestehen, so dass man sich für die SBB-Versuchsstrecken zur gemischten Adressierung entschloss. Der ortsselektive Teil der Adresse wurde aus Gründen der Kompatibilität DB-SBB beibehalten, während die Verarbeitungsnummer vom System her fakultativ ist. Ihre Zuteilung erfolgt bei der Einfahrt des Triebfahrzeugs in jeden Linienleiterbereich von neuem mit einem speziellen Taufverfahren.

2.3.2 Fahrbefehlbildung

Der Bremsweg eines Zuges in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit hängt im wesentlichen von der Bremsart, den Bremsleistung (Bremsvermögen), der Streckenneigung und der Bremsbedienung ab. Auf Grund von Untersuchungen hat sich gezeigt, dass für Bremsart R und P (Reise- und Fern-Eilgüterzüge) die Schnellbremskurven mit hinreichender Genauigkeit durch quadratische Parabeln angenähert werden

können. Für die G-Bremse der Güterzüge ist ein etwas modifiziertes Verfahren notwendig, welches der langen Bremsentwicklungzeit Rechnung trägt.

Damit für einen Zug ein Fahrbefehl gebildet werden kann, muss der Rechner dessen Bremsseigenschaften kennen. Der Zug übermittelt deshalb in den Antworttelegrammen seine Bremsart und Bremsleistung an die ortsfeste Steuerstelle, während die Streckenneigung in der Programmierung des Rechners enthalten ist. Dadurch kann für jeden Fahrort die entsprechende Schnellbremskurve ermittelt werden.

Geht man vom Prinzip der Geschwindigkeitsüberwachung aus, steht die Schnellbremskurve im Vordergrund. Möchte man automatisch fahren – ohne am LZB-System etwas zu ändern – stellt man zweckmässigerweise auf Betriebsbremsungen ab. Auf Grund von Messungen und Berechnungen wurde für R- und P-Bremse die Verzögerung der Betriebsbremskurve zu 70% von derjenigen der Schnellbremskurve definiert. Für die G-Bremse wurden die Betriebsbremskurven sinngemäss ermittelt.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass die ortsfeste Steuerstelle das Triebfahrzeug nicht ununterbrochen, sondern in Intervallen aufruft, wobei die Adresse und damit auch der Fahrbefehl für den Fahrort gelten, in welchem das Triebfahrzeug zuletzt geortet wurde. Daraus wird sofort klar, dass dem Triebfahrzeug eine gewisse Teilautonomie in der Befolgung des Fahrbefehls eingeräumt werden muss. Die beiden Gesichtspunkte «automatisches Fahren» und «Teilautonomie» führten schliesslich zu folgender Lösung:

Der auf das Triebfahrzeug übertragene Fahrbefehl basiert auf der Betriebsbremskurve. Das Triebfahrzeug erhält gleichzeitig mit jedem Telegramm die Vorschrift, welche der an Bord gespeicherten Betriebsbremskurven zur Verarbeitung herangezogen werden muss, so dass die Führungsgeschwindigkeit auf Grund der fahrzeugeigenen Wegmessung und der Synchronisierungspunkte (Phasenkehrstellen) interpoliert werden kann. Mit Hilfe dieser Interpolation wird eine beliebig feine Auflösung und Genauigkeit der Führungsgeschwindigkeit erreicht, die vom Belastungsgrad des Linienleiterbereichs bzw. der variablen Telegramm-Zykluszeit unabhängig ist.

Die Vorschrift, wann interpoliert werden muss, wird dem Triebfahrzeug mit den sog. Bremsinformationen mitgeteilt. Interpoliert wird bei Geschwindigkeitsreduktionen, während bei Beharrungsfahrt nicht interpoliert werden darf. Mit den Bremsinformationen wird ferner dem Triebfahrzeug bis zu 750 m im voraus der genaue Punkt bekanntgegeben, ab welchem die Interpolation einsetzen muss. Dadurch kann eine automatische Fahr- und Bremssteuerung rechtzeitig die Zugkraft zurücknehmen und in die Bremsung übergehen.

Die Streckenneigungen werden durch den einfachen Zusammenhang zwischen Neigung in ‰ und Verzögerung bzw. Beschleunigung in m/s^2 berücksichtigt. Den Neigungsstufen wird durch Übergang auf Bremskurven mit entsprechend kleinerer oder grösserer Verzögerung Rechnung getragen (Abstufung im Prinzip in 6‰-Schritten).

2.4 Triebfahrzeuggerät

Den prinzipiellen Aufbau des Triebfahrzeuggerätes zeigt Fig. 7. Aus Sicherheitsgründen wurde das Zweikanalprinzip angewendet (Datenverarbeitung, Weg- und Geschwindigkeitsmessung usw.). Das störungsfreie Arbeiten der beiden Kanäle der Datenauswertung wird von der Antivalenzlogik dauernd

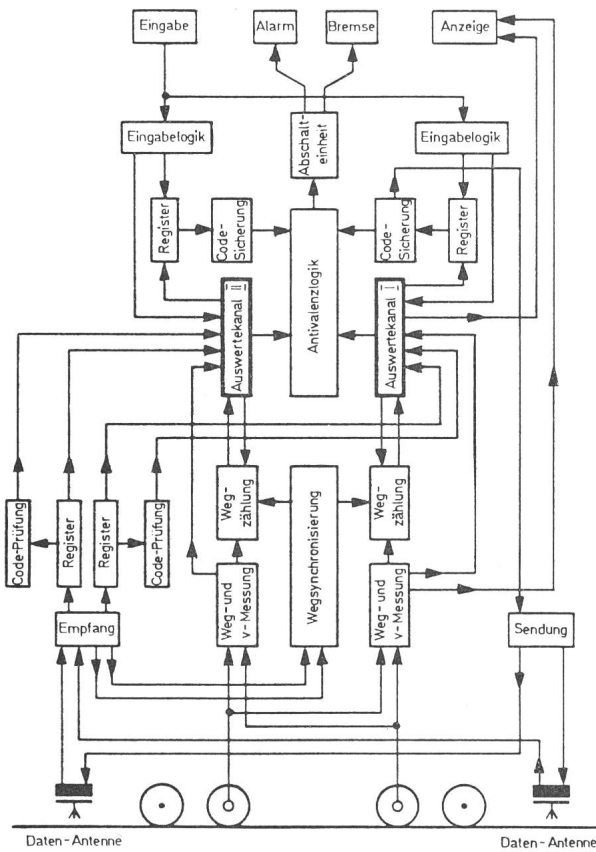


Fig. 7 Prinzipieller Aufbau des Triebfahrzeuggerätes

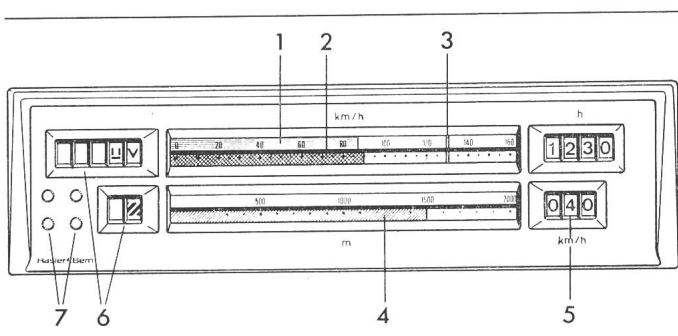


Fig. 8 Anzeigegerät im Führerstand

- 1 Ist-Geschwindigkeit
- 2 Führungsgeschwindigkeit
- 3 Höchstgeschwindigkeit des Triebfahrzeuges
- 4 Zieldistanz
- 5 Zielgeschwindigkeit
- 6 Verschiedene Informationen zur Orientierung des Lokführers
- 7 Meldelampen

überwacht. Im Störfall greift die Abschalteneinheit in die Triebfahrzeugsteuerung ein und bewirkt eine Zwangsbremung.

Für den Empfang des vom Linienleiter erzeugten magnetischen Wechselfeldes sowie zur Erkennung der Synchronisierungspunkte sind unter dem Triebfahrzeug hintereinander zwei Ferritantennen über der Gleismitte angeordnet.

Die empfangenen Informationen werden nur dann in den Auswertekanälen verarbeitet, wenn die gerufene Fahrort- und die Verarbeitungsnummer mit der Wegzählung und der gespeicherten Verarbeitungsnummer auf dem Triebfahrzeug



Fig. 9 Eingliederung des Anzeigegerätes im Führerstand (Re4/4^{II})

übereinstimmen und die Codierung durch die Codeüberwachung als fehlerfrei erkannt wurde. Wird innerhalb der von einem Zeitglied vorgegebenen Zeit (Überwachungszeit von 3 s) kein richtiges Telegramm empfangen, wird die Schnellbremsung ausgelöst.

Die vom Triebfahrzeug auszusendenden Informationen, wie z. B. Zuglänge, Bremsart, Brems Hundertstel, Fahrortquittung, Ist-Geschwindigkeit usw., werden in serieller Form an den Sendeteil abgegeben. Die Antivalenzschaltung überwacht wiederum die einzelnen Informationsblöcke beider Kanäle, die Codesicherung inbegriffen. Für Sendung und Empfang sind eigene Antennenspulen vorhanden.

Die feinstufig in digitaler Form entwickelte Führungsgeschwindigkeit wird auf dem Führerpult angezeigt, damit sich der Triebfahrzeugführer für seine Fahrweise daran orientieren kann. Ebenso kann sie in der Triebfahrzeugsteuerung als Regelgröße für eine automatische Fahr- und Bremssteuerung dienen, was zum Beispiel beim Vororttriebzug RABDe8/16 auch angewandt wird.

Besteht an irgendeinem Punkt der Fahrbahn die Gefahr, dass der Lokführer die zulässige Geschwindigkeit überschreitet, wird rechtzeitig eine Warnung und, bei grösserer Überschreitung der Führungsgeschwindigkeit, eine Schnellbremsung ausgelöst.

Einen Begriff von der Anzeige im Führerstand vermittelt Fig. 8. Fig. 9 zeigt deren Eingliederung in die übrigen Anzeige- und Bedienelemente. Fig. 10 gibt das Eingabetableau im Führerstand wieder, auf welchem sämtliche Zugdaten eingegeben werden, die das System benötigt.

Die Ausrüstung im Maschinenraum ist in Fig. 11 gezeigt: Die vier Etagen des mittleren Blockes enthalten die zweikanalige Datenauswertung mit Antivalenzlogik und Speisung. Unten befindet sich in zwei Etagen angeordnet das Send- und Empfangsgerät. Oben in der Mitte ist das Zentralgerät für die Geschwindigkeitsmessung angeordnet, unmittelbar daneben links der LZB-Ein/Aus- und Prüfschalter.

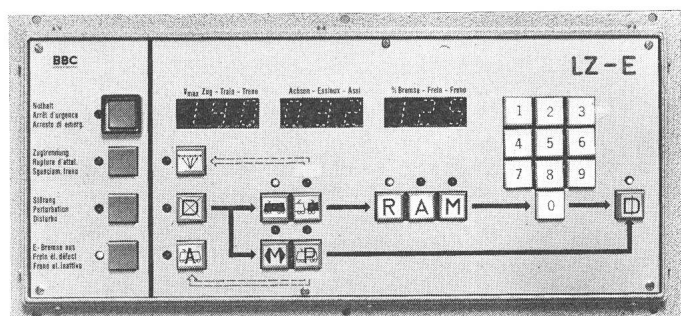


Fig. 10 Eingabetableau im Führerstand

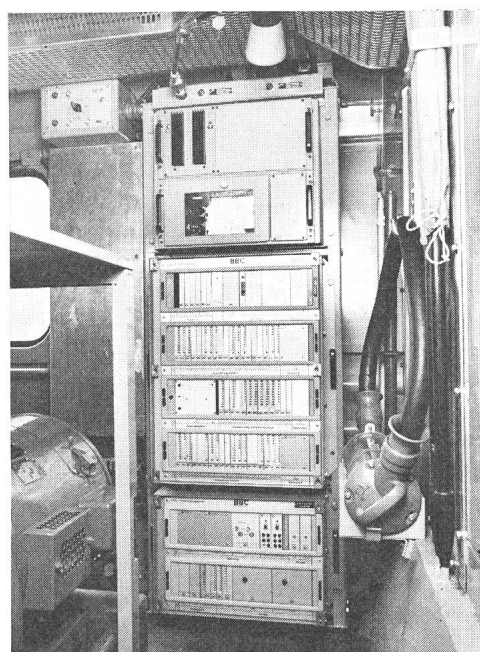


Fig. 11 LZB-Ausrüstung im Maschinenraum (Re4/4^{II})

2.5 Telegrammübertragung

Die Telegrammübertragung basiert auf dem Zeitmultiplexprinzip mit Frequenzshiftung. Unter Berücksichtigung der Gegebenheiten, wie Längsdämpfung des Linienleiters, Ankopplungsdämpfung zwischen Linienleiter und Triebfahrzeugantenne, Übersprechen, PTT-Vorschriften usw., wurden keine Übertragungsfrequenzen unter 30 kHz und über 80 kHz gewählt (Fig. 12).

Die Datenkanäle 1 und 2 arbeiten im Sinne eines Versuchs mit den CCITT-Normhüben von $\pm 0,4$ bzw. $\pm 0,2$ kHz. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen scheint die damit – im Vergleich zu den theoretisch optimalen Hüben von $\pm 0,6$ bzw. $\pm 0,3$ kHz – verbundene grundsätzliche Erhöhung der Bitfehlerrate auch im «worst case» tragbar.

Die Datenkanäle 10 und 11 sind als Reserve für zurzeit noch unbekanntes Informationsbedürfnisse in die Frequenzplanung einbezogen worden, jedoch ohne Festlegung der Frequenzhübe.

Die Telegrafiergeschwindigkeiten in den Kanälen 1 und 2 entsprechen mit 1200 bzw. 600 Baud der Norm. Für Kanal 2 sind 600 Baud ausreichend, da die Informationen auf ein ständiges und ein gelegentliches Antworttelegramm (letzteres auf besonderen Abruf) aufgeteilt sind. Dadurch wird eine ca. 4mal kleinere Bitfehlerrate erreicht als mit einem einzigen Telegramm mit 1200 Baud.

Um die Telegramme möglichst kurz zu halten, werden die Begriffe der verschiedenen Informationsfamilien wo immer möglich dual (in Potenzen von 2) codiert. Zur einwandfreien Synchronisierung von Sender und Empfänger wird für die Übertragungsrichtung Strecke–Triebfahrzeug ein besonderer Synchronisierungskopf von insgesamt 5,5 bit verwendet, mit nachfolgendem Barker-Code (feste Codierung 011), welcher gegen Telegramm-Schrittverschiebungen sichert. Für die Übertragungsrichtung Triebfahrzeug–Strecke wird der Synchronisierungskopf nicht benötigt, da die Fahrzeuge unmittelbar nach Aufruf ihre Antwort absetzen. Als Startschritt für den Empfänger des Streckengerätes dient der Barker-Code im Antworttelegramm.

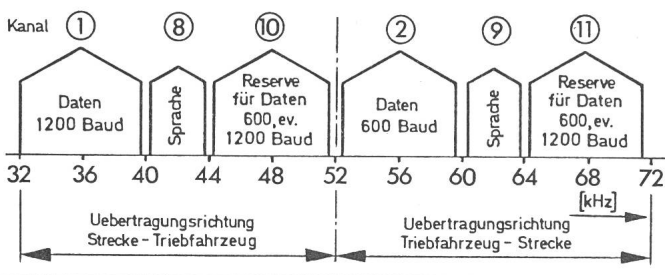


Fig. 12 Übertragungskanäle für Daten und Sprache

- 1 Datenkanal
Strecke–Triebfahrzeug $36 \pm 0,4$ kHz, 1200 Baud
 - 8 Telefoniekanal
Strecke–Triebfahrzeug 40 – 44 kHz, –
 - 10 Reserve-Datenkanal
Strecke–Triebfahrzeug $48 \pm \dots$ kHz, 600, evtl. 1200 Baud
 - 2 Datenkanal
Triebfahrzeug–Strecke $56 \pm 0,2$ kHz, 600 Baud
 - 9 Telefoniekanal
Triebfahrzeug–Strecke 60 – 64 kHz, –
 - 11 Reserve-Datenkanal
Triebfahrzeug–Strecke $68 \pm \dots$ kHz, 600, evtl. 1200 Baud
- Die Filtercharakteristiken sind vereinfacht dargestellt.

Mit Einbezug von Synchronisierungskopf, Barker-Code und der Code-Überwachungsbits (Redundanz zur Erreichung des als notwendig erachteten Hamming-Abstandes 4) betragen die Gesamt-Telegrammlängen:

Richtung Strecke–Triebfahrzeug: 83,5 bit ($\cong 69,58$ ms)

Richtung Triebfahrzeug–Strecke: 41 bit ($\cong 68,33$ ms)

3. Inhalt der SBB-Versuche

Die Versuche Lavorgo–Bodio und Baden–Turgi–Koblentz ergänzen sich gegenseitig: Während es auf der Gotthardstrecke darum geht, die LZB im Zusammenhang mit starkem gemischtem Verkehr und der Zugführung auf grossen Streckenneigungen zu erproben, wird die Flachlandstrecke Baden–Turgi–Koblentz vorwiegend dazu dienen, mit der LZB im höheren Geschwindigkeitsbereich und vor allem mit deren Zusammenspiel mit der automatischen Fahr- und Bremssteuerung des Vorortzuges Erfahrungen zu sammeln.

Die Versuche sind streng nach ORE-Pflichtenheft [9; 10] aufgebaut und haben eine doppelte Bedeutung:

- Erprobung für spätere Anwendung bei den SBB in grösserem Maßstab, d.h. auf Hauptstrecken und Vorortlinien mit starkem Verkehr;
- Unterstützung auf internationaler Ebene des LZB-Gedankens allgemein sowie des Versuchssystems im besonderen.

Bei den SBB wird das Integrierte System nach ORE-Pflichtenheft erstmals in vollem Umfang verwirklicht. Wohl hat die DB die bereits erwähnten Strecken im LZB-Betrieb, doch ist dort der Akzent entweder auf Fernschnellverkehr (zur Absicherung von Fahrgeschwindigkeiten zwischen 160 und 200 km/h) oder auf S-Bahn-Betrieb gelegt, nicht aber auf starken gemischten Verkehr wie bei den SBB. Der Nachweis der Tauglichkeit des Systems für diese Art Verkehr ist somit komplementär zur LZB-Anwendung der DB. Hierin besteht die Bedeutung auf der internationalen Ebene.

Erprobung für spätere Anwendung bei den SBB bedeutet folgendes: Die Schnittstelle zwischen Strecke und Triebfahrzeug ist nach ORE-Pflichtenheft festgelegt. Das Pflichtenheft hat sich stellenweise als etwas grobmaschig erwiesen, kleine Retouchen sind notwendig und in Ausführung begriffen. Die Gestaltung des Zusammenspiels Mensch–System, d.h. die Sichtbarmachung und Eingabe der Daten im Führerstand wie auch die Anknüpfung am ortsfesten Stellfisch, ist dagegen vom ORE bewusst den Verwaltungen überlassen worden. Auf diesem Gebiet sowie im Ausfeilen der Technik bedeuten die Versuche eine SBB-interne Optimierung im Hinblick auf einen späteren Seriebau.

«Aller Anfang ist schwer» gilt auch hier. So bestanden anfänglich grosse Schwierigkeiten mit der Telegrammübertragung in der Richtung Triebfahrzeug–Strecke. Die Ursache wurde in der ungünstigen Charakteristik der streckenseitigen Empfangsfilter erkannt und durch Anpassung an die gegebenen Verhältnisse behoben.

Die Verfügbarkeit der ortsfesten Anlage ist bereits erfreulich gut. Vor allem hat sich das 3-Rechner-Prinzip bewährt: In keinem Fall war bisher mehr als ein Rechner gestört, so dass der Versuchsbetrieb mit den verbleibenden zwei Rechnern einwandfrei aufrechterhalten werden konnte.

Als schwächstes Glied hat sich das Linienleiterkabel erwiesen. Kaum verlegt auf der Strecke Lavorgo–Bodio, machte sich die verhältnismässig gute Brennbarkeit des Polyäthylenmantels

nachteilig bemerkbar: Herunterfallende glühende Bremsklötze (von Güterwagen mit Bremsstörungen während der Talfahrt) beschädigten das Kabel immer wieder, indem jeweils die gesamte Isolation über mehr als Schwellendistanz wegbrannte. Abhilfe durch Zugaben ist zwar gefunden worden, doch zeigte sich das Kabel trotz an und für sich robuster Ummantelung als leicht verletzlich durch den heutigen mechanisierten Gleisunterhalt. Vor allem gefährlich wirkt der Schotterpflug. Geeignete Instruktion des Personals und die Entwicklung zweckmässiger Behandlungsmethoden für das Kabel haben sich bereits sehr günstig ausgewirkt, so dass das Problem heute als grundsätzlich gelöst gilt.

Das Übersprechen in Längs- und Querrichtung (von Bereich zu Bereich und von Gleis zu Gleis), welches mannigfache Probleme bezüglich Systemsicherheit und -zuverlässigkeit verursacht, soll in nächster Zeit durch Versuche mit der Erdung und der Kabelverlegung noch eingehender erfasst werden.

Sporadische (vorübergehende) Störungen der Triebfahrzeuggeräte, die ihrer Natur entsprechend schwierig zu bekämpfen sind, konnten bereits stark eingedämmt werden. Es wird jetzt versucht, ihnen mit Hilfe einer neu eingerichteten Registrierung von 7 jeweils wählbaren Parametern noch weiter beizukommen. Bisher konnte nur in wenigen Fällen ein Zusammenhang zwischen Störungen an der bewusst exponiert im Maschinenraum der Re4/4^{II} aufgestellten LZB-Apparatur und Schaltvorgängen auf dem Triebfahrzeug gefunden werden. Darüber hinaus werden Überlegungen angestellt, ob an Stelle der heutigen Auswertelogik – die noch in der Technik der diskreten bzw. niedrig integrierten Elemente aufgebaut ist – künftig auf eine 3kanalige Lösung mit Mikroprozessoren übergegangen werden sollte. Nicht nur die grundsätzlich erhöhte Verfügbarkeit würde dafür sprechen, sondern auch die Entwicklung auf dem Mikroprozessor-Markt allgemein.

Der Sicherheitsnachweis für die Triebfahrzeuggeräte ist weitgehend erbracht, für die Hardware der Steuerstelle Turgi ist er bereits abgeschlossen. Für deren Software wie auch für Hardware und Software der Steuerstelle Lavorgo sind die Arbeiten in vollem Gang.

Neben den Versuchen mit dem LZB-System nach ORE-Pflichtenheft finden Versuche mit LZB-Telefonie zwischen den ortsfesten Steuerstellen und den Triebfahrzeugen statt: Die LZB-Telefonie dient als vielseitig verwendbare Ergänzung des Systems und arbeitet unabhängig von der Datenübertragung, abgesehen vom Linienleiterkabel als gemeinsamem Signalträger. Auf künftigen Neubaustrecken ist die LZB-Telefonie

als Hilfssystem denkbar, evtl. sogar an Stelle der konventionellen Signalisierung. Die Telefonie fiel von Anfang an auf durch die gute Qualität der Übertragung. Im Gegensatz zum Funk ist sie praktisch frei von Störgeräuschen und reisst in den Tunnels nicht ab.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Vorstehend wird das LZB-System nach ORE-Pflichtenheft umrissen, mit dem die SBB seit 1976 Versuche betreiben. Ferner sind die wichtigsten bisher gesammelten Versuchserfahrungen dargelegt. Gesamthaft gesehen berechtigt der Stand der Versuche zu Optimismus, dass die Eisenbahn in sicherheitstechnischer und betrieblicher Hinsicht einen grossen Schritt vorwärts gebracht werden kann. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sollen demnächst in Angriff genommen werden, so dass in voraussichtlich zwei Jahren die Geschäftsleitung SBB auf Grund der wirtschaftlichen und technischen Aspekte in der Lage sein wird, über die Einführung der LZB in grösserem Maßstab bei den SBB zu entscheiden.

Abschliessend sei darauf hingewiesen, dass in neuester Zeit auch die SNCF (Frankreich) sowie die RENFE (Spanien) Versuche mit diesem System unternommen bzw. Versuchsausrüstungen in Auftrag gegeben haben.

Literatur

- [1] H. Lagershausen: Die geschichtliche Entwicklung der Linienzugbeeinflussung und des Linienleiters. Eisenbahntechnische Rundschau 22(1973)11, S. 423...434.
- [2] P. Winter: Neuland auf dem Gebiet der Sicherung der Züge und der Übertragung von Informationen zwischen Gleis und Triebfahrzeug. SBB Nachrichtenblatt 44(1967)2, S. 9...12.
- [3] P. Winter: Neuerungen auf dem Gebiete der Sicherung der Züge und der Leistungssteigerung der Strecke. Neue Technik 9A(1967)4, S. 207...228.
- [4] E. Meyer: Neue Wege in der Eisenbahnsignal- und Zugsicherungstechnik. Bull. SEV/VSE 67(1976)14, S. 708...712.
- [5] W. Köth: Vergleich der Systemmerkmale verschiedener Zugbeeinflussungseinrichtungen. Eisenbahntechnische Rundschau 20(1971)7/8, S. 326...336.
- [6] V. M. Bogdan, S. Vaid und K. Zwar: Ortsfeste Stelle für Linienzugbeeinflussung. Brown Boveri Mitt. 63(1976)9, S. 592...597.
- [7] H. Appel: Die rechnergesteuerte Linienzugbeeinflussung der Bauform Lorenz in der Erprobung auf der Strecke Bremen-Hamburg. Signal und Draht 66(1974)11, S. 202...208.
- [8] V. M. Bogdan und H.-J. Hahn: Die Linienzugbeeinflussung LZB-ORE. Brown Boveri Mitt. 62(1975)12, S. 528...538.
- [9] Beispiele eines europäischen Systems der linienförmigen Zugbeeinflussung. Anlage 6A: Beispiel für das integrierte System. ORE-A 46, Bericht Nr 6. Utrecht, Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC), 1971.
- [10] Vereinfachte Varianten des linienförmigen Zugbeeinflussungssystems. Schnittstellenbedingungen des integrierten Systems. Vereinfachungsmöglichkeiten des integrierten Systems der linienförmigen Zugbeeinflussung. ORE S 1005, Bericht Nr. 1. Utrecht, Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC), 1974.

Adresse des Autors

Martin Gerber, dipl. Ing. ETH, Abteilung Zugförderung und Werkstätten der Generaldirektion SBB, Hochschulstrasse 6, 3000 Bern.