

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 27: Jubiläumsausgabe 100 Jahre "Die Eisenbahn" - "Schweizerische Bauzeitung"

Artikel: Rechnergestützte Untersuchungsmethoden von Ablaufanlagen in Rangierbahnhöfen
Autor: König, H. / [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72414>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Rechnergestützte Untersuchungsmethoden von Ablaufanlagen in Rangierbahnhöfen

Von Dr.-Ing. H. König, Bern

DK 656.212 : 656.222.3

1. Einleitung

Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) arbeiten seit einigen Jahren an der Verwirklichung eines neuen Rangierkonzepts, das etwa 15 zentrale Rangierbahnhöfe (RB) vorsieht, von denen die meisten neu zu bauen sind. Mindestens bei den bedeutenderen davon besteht der Wunsch, den Ablaufbetrieb weitgehend zu automatisieren.

Für die Projektierung der neuen Rangierbahnhöfe sowie bei den Studien zur Frage geeigneter Konzepte von automatischen Ablaufanlagen waren also zahlreiche ablaufdynamische Untersuchungen zu erwarten, die mit den bekannten «manuellen» graphischen und numerischen Verfahren innert nützlicher Frist nicht durchzuführen waren.

Die SBB entwickelten deshalb ein entsprechendes Computer-Programm «Ablaufberg», das in seiner ersten Version 1965 in Benutzung kam. Seither wurden bei den SBB sämtliche ablaufdynamischen Untersuchungen für die Studien zur Frage des Konzepts automatischer Ablaufanlagen, die Bestimmung der Konfiguration sowie die Berechnung der Koeffizienten der Steueralgorithmen der Gleisbremsen und Fördereinrichtungen anstehender Projekte mit diesem Programm durchgeführt. Sogar für die Auswertung der Ergebnisse von Laufeigenschaftenmessungen konnte es verwendet werden.

In den folgenden Abschnitten wird ein Überblick über den Aufbau des Programms «Ablaufberg» sowie die Methodik der durchgeführten Untersuchungen gegeben.

2. Das Programm «Ablaufberg» der SBB [1]

Ablaufdynamische Untersuchungen bestehen im wesentlichen in der Berechnung der Zeit-Weg-Diagramme, allenfalls noch der Geschwindigkeits-Weg- und (selten) Beschleunigungs-Weg-Diagramme der vom Ablaufberg in die Richtungsgleise laufenden Güterwagen oder Gruppen von Güterwagen. Zu ihrer Ermittlung wurden verschiedene numerische und graphische Verfahren entwickelt. Erwähnt seien diejenigen von Müller [2] und Raab [3]. Alle diese Verfahren treffen erhebliche vereinfachende Annahmen, um den Arbeitsaufwand in erheblich erträglichen Grenzen zu halten; die erreichbare Genauigkeit ist besonders bei den graphischen Verfahren recht beschränkt.

Mit der Entwicklung elektronischer, programmgesteuerter Rechenautomaten ist die Möglichkeit gegeben, die «Handrechenverfahren» abzulösen. Angesichts der Leistungsfähigkeit von Gross-Rechenanlagen erschien es nicht zweckmässig, eines der bekannten Verfahren direkt zu programmieren. Es wurde vielmehr versucht, alle den Ablauf beeinflussenden Faktoren so genau wie möglich zu erfassen: Ein recht erheblicher Programmieraufwand sowie etwa längere Rechenzeiten waren der Preis für ein universell anwendbares Rechenprogramm. Den weit gehaltenen Rahmen illustriert vielleicht (neben der umfangreichen Dateneingabe) ganz gut der Hinweis, dass seit 1965 nur eine einzige sachliche Ergänzung notwendig war, und zwar, damit man das verzögerte Einschalten von Gleisbremsen simulieren konnte.

Die wesentlichen Eingabedaten des in «FORTRAN IV» geschriebenen Programms sind:

- Wagengruppen von 1 bis 10 Wagen; für jeden Wagen mit 2 bis 6 Achsen Überhänge, Achsabstände, für den Bogenwiderstand massgebender Achsstand, Achslast, Massenfaktor und Rollwiderstand; für den Ablauf Stirnfläche und

gewünschte Luftwiderstandskoeffizientenkurve sowie Abdrückgeschwindigkeit

- Längenprofil der Anlage mit bis zu 100 Neigungsabschnitten; innerhalb jedes Abschnitts Neigung konstant oder (Ausrundungsbögen) linear veränderlich
- Kurvenband der Anlage mit bis zu 100 Abschnitten von Gleisbögen und Geraden zusammen
- Weichenband der Anlage mit bis zu 50 Abschnitten (Weichenwiderstand)
- Veränderung des Rollwiderstands über den Laufweg mit bis zu 100 Abschnitten; innerhalb jedes Abschnitts Rollwiderstand konstant oder linear veränderlich
- Windgeschwindigkeit als Funktion des Wegs mit bis zu 20 Abschnitten. Innerhalb jedes Abschnitts Windgeschwindigkeit konstant oder linear veränderlich; Windrichtung; Tabellen der Luftwiderstandskoeffizienten in Funktion des relativen Anblaswinkels
- Brems- und Beidrückkräfte in bis zu 20 Abschnitten; für jeden Abschnitt gewünschte relative Brems- oder Beidrückkraft, die absolute (100%) Brems- oder Beidrückkraft in Funktion der Momentangeschwindigkeit (als Tabelle), Einschaltzeitpunkt in bezug auf den 1. Puffer des Ablaufs; Löse- bzw. Auslaufgeschwindigkeit; Abminderungskoeffizient für achszahlabhängige Kräfte; Nachbremsen ja oder nein

Die Berechnung der Beschleunigung, der Geschwindigkeit sowie der Zeit als Funktion des Wegs wird schrittweise mit gleichbleibender Schrittweite durchgeführt; die Schrittweite kann beliebig gewählt werden. Die Berücksichtigung geschwindigkeitsabhängiger Parameter erfolgt iterativ; die gewünschte Iterationsgenauigkeit kann beliebig gewählt werden. Je Ablauf sind maximal 500 Rechenschritte vorgesehen.

Die wesentlichen Ausgabedaten sind Tabellen der Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Zeit-Weg-Diagramme in Funktion des Laufwegs.

Das Programm hat in seiner derzeitigen Fassung einen Speicherbedarf von etwa 66 K (byte). Die Rechenzeiten betragen pro file 10 bis 20 s CPU-time und 40 bis 80 s run-time¹⁾, je nach Umfang des zu berechnenden Falls.

Das Programm enthält keine übergeordneten Strategien (z.B. für die Berechnung der Lösegeschwindigkeiten von Bremsen, den Einsatz der Fördereinrichtungen u.ä.m.). Die sich aus diesen ergebenden Aufträge an die die Geschwindigkeit der Abläufe beeinflussenden Einrichtungen müssen in expliziter Form im Input angegeben werden. Der Grund hierfür ist der, dass es eine ganze Menge möglicher Strategien gibt (z.B. für die Berechnung der Lösegeschwindigkeit von Talbremsen nicht nur das bei der DB übliche Verfahren der Geschwindigkeits-Zielbremsung); ein Rahmenprogramm zum Programm «Ablaufberg», das diese Strategien enthalten würde, müsste jedesmal umprogrammiert werden, wenn eine geänderte oder eine neue Strategie durchgespielt werden soll.

Das Programm wurde der Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) sowie einigen interessierten Verwaltungen zur Verfügung gestellt²⁾; ausser von den SBB wurde es bisher nur von den OeBB angewendet.

¹⁾ 1 byte = 8 bit; CPU = central processor unit; run-time vom Beginn des Einlesens der Eingabedaten bis zum Ende des print-out der Resultate, einschliesslich Wartezeiten usw.

²⁾ DB, OeBB, NSB, SAR

3. Die klassische ablaufdynamische Untersuchung

Die klassische, seit den 20er Jahren für mechanisierte Ablaufanlagen übliche ablaufdynamische Untersuchung ist als Leistungsfähigkeitsnachweis zu verstehen; sie fragt nach der unter ungünstigen Bedingungen möglichen Abdrückgeschwindigkeit. Ihre Ergebnisse liefern hingegen keine Regeln für den Bremswärter der Talbremsen, wie im Einzelfall ein Ablauf abgebremst werden muss.

In der Regel wurde unter ungünstigen Witterungsbedingungen (tiefe Temperatur, Gegenwind: «Winter») die Ablauffolge Schlechtläufer – Gutläufer – Schlechtläufer untersucht, wobei für die betrachteten Wagen nicht extreme, sondern – innerhalb ihrer Kategorie von gut bzw. schlecht – durchaus mittlere Verhältnisse angenommen wurden: Unter den angenommenen Witterungsbedingungen grenzten der Schlecht- und der Gutläufer die mittleren 60% aller Fälle in der Verteilkurve der Rollwiderstände ein; die übrigen Parameter dieser beiden Standard-Abläufe wurden plausibel gewählt. Begründet wurde dieses Vorgehen mit der Feststellung, dass Ablauffolgen von Wagen mit einem noch grösseren Rollwiderstandsunterschied derart unwahrscheinlich seien, dass sie nicht berücksichtigt werden müssten. Gruppenabläufe wurden im allgemeinen nicht untersucht, da sie weniger ungünstig waren³⁾. Über die Gesamt-Wahrscheinlichkeit der verwendeten Standard-Abläufe konnten keine Aussagen gemacht werden, da die wesentlichen das Laufverhalten bestimmenden Faktoren, wie Roll-, Bogen- und Luftwiderstand, einzeln gemessen worden waren.

Diesem Verfahren haftet etwas Unbestimmtes an: Das berechnete Mass der Abbremsung des Gutläufers hat nichts mit dem Steuern der Talbremse im Einzelfall zu tun; die ermittelte Abdrückgeschwindigkeit ist lediglich als im täglichen Betrieb gewöhnlich zu erreichender Wert für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Ablaufanlage zu betrachten.

4. Die ablaufdynamische Untersuchung als Simulation der Steuerung

Für die Erarbeitung von Konzepten automatischer Ablaufanlagen genügt das beschriebene Verfahren nicht mehr⁴⁾. Es wird im folgenden versucht, dies an den wichtigsten Fällen beispielhaft deutlich werden zu lassen und die Richtung aufzuzeigen, in der sich die ablaufdynamische Untersuchungsmethode bewegt.

Dabei stellt sich zunächst die Frage, ob es auch in automatischen Ablaufanlagen genügt, die Untersuchung auf Folgen von Einzelabläufen zu beschränken. Die meisten Konzepte für automatischen Ablaufbetrieb sehen ausser den Talbremsen am Beginn der Richtungsgleise mehr oder weniger kurz hinter dem letzten Grenzzeichen eine weitere Bremsstaffel vor; auch das Konzept der SBB arbeitet mit solchen Richtungsgleisbremsen. *Die durchgeführten Studien liessen nun eindeutig erkennen, dass in Ablaufanlagen mit Richtungsgleisbremsen die massgebenden Ablauffolgen nicht mehr solche von Einzelwagen sind, sondern von Wagengruppen, denen Einzelabläufe vorausgehen und folgen.* Z.B. verursachen kurz hinter dem letzten Grenzzeichen angeordnete, nichtverzögert eingeschaltete Richtungsgleisbremsen einen derartigen Rückstau in die Verteilzone, dass entweder die Abdrückgeschwindigkeit massiv vermindert oder aber die Länge der Gruppenabläufe eingeschränkt werden muss. Da es im vorliegenden Aufsatz nicht um eine kritische Betrachtung der verschiedenen Konzepte automatischer Ablaufanlagen geht, sondern in erster Linie um die Untersuchungsmethoden, mit deren Hilfe eine sachliche Beurteilung möglich wird, mögen diese Hinweise genügen.

Eine andere Frage ist, ob es bei der Untersuchung automatischer Ablaufanlagen auch weiterhin genügt, nur Standard-Abläufe zu betrachten, deren Rollwiderstand ledig-

lich die mittleren 60% aller Fälle in der Verteilkurve dieses Parameters eingrenzen. Dies Problem sei am Beispiel der Abstandsbremsung mit Talbremsen diskutiert.

Von einer Abstandsbremsung muss offenbar mindestens verlangt werden, dass kein Ablauf seinen Vorläufer bis zum Grenzzeichen derjenigen Verteilweiche einholt, an dem sich der Laufweg der beiden gabelt. Dazu wäre es an sich notwendig zu wissen, wann der Vorläufer diesen Punkt passiert. Der Entscheid über die erforderliche Lösegeschwindigkeit des Nachläufers muss jedoch in der Regel⁵⁾ getroffen werden, bevor der Vorläufer an dem fraglichen Grenzzeichen vorbei ist. *Daher ist Abstandsbremsung mit Berücksichtigung des tatsächlichen Verhaltens des Vorläufers praktisch nicht möglich.* Das bedeutet jedoch, dass Algorithmen für die Abstandsbremsung «Ersatzlösungen» sind, in die lediglich das Laufverhalten des betrachteten Ablaufs – und zwar auch nur dasjenige im Bereich vor der Talbremse – eingeht.

Ausgehend von den je nach verwendetem Algorithmus unterschiedlich berechneten Soll-Lösegeschwindigkeiten der Talbremse kann das wirkliche Verhalten hinter der Talbremse nur dadurch berücksichtigt werden, dass entsprechende statistisch ermittelte Streubereiche eingeplant werden.

Die tatsächlich vorhandene Ablauffolge geht mithin – entgegen den bisherigen Ansichten – in die Prozess-Steuerung gar nicht ein. Für die Beurteilung der Brauchbarkeit von Steueralgorithmus ist deswegen auch nicht irgendeine künstlich konstruierte «massgebende Ablauffolge» mehr oder minder bestimmter Wahrscheinlichkeit entscheidend. Wesentlich ist vielmehr, ob oder inwieweit alle denkbaren Abläufe einzeln und für sich so behandelt werden, dass kein nach dem gleichen Algorithmus behandelter Vorläufer auf dem gemeinsamen Laufweg eingeholt wird. Praktisch bedeutet dies eine Parallelisierung der Zeit-Wege-Linien mit dem schlechtesten Ablauf, der gerade noch vollumfänglich⁶⁾ berücksichtigt werden soll (isochroner Ablauf [4]).

Ziel der Abstandsbremsung ist es also, alle Abläufe in einem «Kanal» oder «Band» zu halten, dessen «Mittelwert» durch den Grenz-Slechtläufer gegeben ist. Es ist einleuchtend, dass es nunmehr unzulässig ist, in die ablaufdynamische Untersuchung nur den Gutläufer und den Schlechtläufer, deren Rollwiderstände die mittleren 60% in der Verteilkurve eingrenzen, einzubeziehen. Weil die ablaufdynamische Untersuchung nun zu einer Simulation des Steueralgorithmus wird, müssen im Gegenteil gerade auch die Grenzfälle des Laufverhaltens betrachtet werden (z.B. die 99,9% aller Fälle von Laufverhalten einschliessen⁷⁾).

³⁾ Was für nur mechanisierte Anlagen (also solche ohne Richtungsgleisbremsen) weitgehend zutrifft, weil der Auffangpunkt am Anfang der Richtungsgleise nicht fixiert ist und ausserdem innerhalb eines Gruppenablaufes ein gewisser Ausgleich der Rollwiderstände eintritt. Man sollte andererseits aber auch nicht übersehen, dass der Aufwand für manuelles Berechnen des Verhaltens von Gruppenabläufen (vgl. [2]) derart prohibitiv war, dass vermutlich nicht ungern darauf verzichtet wurde!

⁴⁾ Wenigstens dann nicht, wenn der Boden ernsthafter, kritisch orientierter Ingenieurarbeit nicht verlassen werden soll; sobald möglicherweise an sich beschränkt brauchbare Arbeitshypothesen zu glaubensbekenntnisartigen Dogmen werden, unterbleiben ablaufdynamische Untersuchungen jeglicher Art ohnehin besser ganz!

⁵⁾ Nämlich wenn die Wagenfolge so dicht ist, dass überhaupt eine Möglichkeit des Einholens besteht!

⁶⁾ Vollumfänglich berücksichtigt heisst, dass die Zeit-Wege-Linie dieses «Grenz-Slechtläufers» den Massstab für die Soll-Zeit-Wege-Linien der übrigen Abläufe darstellt.

⁷⁾ Über den erforderlichen Bereich sollte man sich keinen Illusionen hingeben: Eine statistische Sicherheit von 99% wird allgemein als hoch empfunden werden. Im Rangierbahnhof mit beispielsweise 500 Wagen pro Tag, von denen $\frac{2}{3}$ einzeln ablaufen, bedeutet dieser Wert, dass immerhin 20 Wagen ein Laufverhalten zeigen, das aus dem Bereich herausfällt!

Die «Band-» oder «Kanalbreiten» müssen – wie oben schon angedeutet – offenbar so ausgelegt werden, dass die wahrscheinlichen Abweichungen von den gewünschten Sollwerten der Geschwindigkeitssteuerung noch aufgefangen werden können; denn die auf Grund des Steueralgorithmus berechnete Lösegeschwindigkeit kann technisch nur mit einer beschränkten Genauigkeit verwirklicht werden. Das bedeutet aber, dass für jeden betrachteten Ablauf ausser der Soll-Zeit-Wege-Linie noch diejenigen für wahrscheinlich mögliche zu schwache Abbremsung und zu starke berechnet werden müssen.

Ausserdem ist es offenbar im Interesse einer stabilen Betriebsabwicklung, die verschiedenen «Kanäle» an den massgebenden Stellen nicht toleranzlos aneinanderstossen zu lassen; vielmehr müssen gewisse Pufferzeiten vorgesehen werden.

5. Die ablaufdynamische Untersuchung bei Laufeigenschaftenmessungen

Laufeigenschaftenmessungen wurden bisher so durchgeführt, dass alle wesentlichen Anteile des Laufverhaltens (Rollwiderstand, Bogenwiderstand, Weichenwiderstand, Luftwiderstand) isoliert und einzeln bestimmt wurden, wofür zum Teil recht aufwendige Versuchsanordnungen notwendig sind. Für ablaufdynamische Untersuchungen wurden danach mit geeigneten Werten für die einzelnen Parameter Standard-Abläufe zusammengesetzt. So wichtig es ist, durch entsprechende, z.T. auch an Modellen durchgeführte Versuche grundsätzliche Kenntnisse über die einzelnen Anteile des Laufverhaltens zu bekommen, kann doch nicht übersehen werden, dass dieser Methode der Nachteil anhaftet, dass eine zuverlässige Aussage über die Gesamtwahrscheinlichkeit des Laufverhaltens der so zusammengesetzten Abläufe praktisch nicht möglich ist.

Die Simulation von Abläufen mit Hilfe entsprechender Computer-Programme, die die Möglichkeit bietet, mit verhältnismässig geringem Aufwand durch iterative Veränderung eines Parameters eine ganz bestimmte Situation nachzubilden, gestattet nun, auch bei Laufeigenschaftenmessungen genauere Aussagen zu machen.

Der Grundgedanke ist folgender: An einer Stelle, an der die Abläufe von Einrichtungen der Geschwindigkeitssteuerung (also im allgemeinen Talbremsen) noch unbeeinflusst sind, wird die Verteilung der Geschwindigkeiten der Abläufe gemessen. Danach wird für die zu definierenden Standard-Abläufe der gewünschten Wahrscheinlichkeit (beispielsweise 0,1% für einen «Grenz-Gutläufer»; 20% für einen «Normal-Gutläufer»; 80% für einen «Normal-Schlechtläufer» und 99,8% für einen «Grenz-Schlechtläufer») über alle Parameter bis auf den Rollwiderstand in plausibler Weise verfügt. Der zugehörige Rollwiderstand wird nun so gefunden, dass iterativ die der gewünschten Wahrscheinlichkeit entsprechende Geschwindigkeit (sc. auf der Anlage, an der die Messungen durchgeführt wurden) angenähert wird.

Das Verfahren hat den Vorzug, dass nicht nur alle Streuungen aller übrigen Widerstandsanteile (es sei nur an den Bogenwiderstand erinnert!) damit erfasst werden, sondern auch die Streuungen aller den Wagenpark beschreibenden Parameter (z.B. Stirnfläche, Radstand u.a.m.), indem die Geschwindigkeit, die an einem bestimmten Punkt erreicht wird, diese in integrierter⁸⁾ Form enthält.

Für die getroffenen Verabredungen hinsichtlich der übrigen das Verhalten der Abläufe beeinflussenden Parameter stellt der so gefundene Wert des Rollwiderstands einen präzisen Ausdruck für das Gesamtlaufverhalten dar; dieses allein ist aber eigentlich bei der Simulation von Steuerungen von Interesse.

Im Gegensatz zu den klassischen Methoden der Laufeigenschaftenbestimmung eignet sich das beschriebene Verfahren recht gut zur selbsttätigen Datenerfassung und gestat-

tet die Aufnahme von Kollektiven, bei denen nicht nur statistisch gesicherte Aussagen über mittlere Werte des Laufverhaltens möglich sind, sondern auch über die – viel wichtigeren – Ränder der Verteilung.

Die von den SBB im Rangierbahnhof Chiasso [5] entsprechend durchgeführten Messungen ergaben bei sehr bescheidenem Aufwand äusserst interessante Ergebnisse. Auf der Basis von mehr als 70000 Messwerten konnte eindeutig gezeigt werden, dass die bisherigen Annahmen über den Normal-Gutläufer und den Normal-Schlechtläufer zu ungünstig waren; die ermittelten Werte zeigen gute Übereinstimmung mit den Koeffizienten der Güterzugwiderstandsformeln: Offenbar muss der Mittelwert des Rollwiderstands (zwischen Normal-Gutläufer und Normal-Schlechtläufer) dem 1. Glied jener Formel entsprechen. Es konnten darüber hinaus die Messungen der SJD bestätigt werden, dass nämlich ein erheblicher Anteil von Wagen Rollwiderstände von weniger als 1 kg/t haben muss. Ferner konnten eindeutige Aussagen über die Wahrscheinlichkeit von Grenz-Schlechtläufern verschiedener Rollwiderstände, sonst aber gleicher Abmessungen, gemacht werden, was für Bemessung der Höhe von Ablaufbergen von Bedeutung ist.

6. Beispiel: Steuern auf «optimales Einfädeln» im Richtungsgleis

Als Beispiel für die Anwendung der beschriebenen, rechnergestützten Untersuchungsverfahren für die Entwicklung von Algorithmen für die Steuerung von Gleisbremsen sei das Abbremsen auf «optimales Einfädeln» im Richtungsgleis erläutert.

Der Grundgedanke ist folgender: Ausser unzeitiges Einholen von Abläufen in der Verteilzone zu vermeiden, ist es Aufgabe der Tal- und Richtungsgleisbremsen, die Abläufe so zu steuern, dass beim Einlaufen ins Richtungsgleis keine Aufstösse mit unzulässigem Geschwindigkeitsunterschied vorkommen. Bei dem ungünstigsten Fall dichter Ablauffolge, d.h., wenn jeder zweite Ablauf in dasselbe Richtungsgleis geht, lässt sich dies angesichts der möglichen zufälligen Abweichungen von den Sollwerten der Abbremsung, auf die gesteuert wird, dann am wahrscheinlichsten erreichen, wenn die Soll-Abbremsung so berechnet ist, dass nach Verlassen der Richtungsgleisbremse⁹⁾ die Pufferabstände jedes Ablaufs zu seinem Vor- und Nachläufer gleich sind (Bild 1). Vom Vor- und vom Nachläufer des betrachteten Ablaufs aus gesehen, wird dieser also optimal zwischen jene «eingefädelt».

Die durchgeführten Studien zeigten, dass sich die beiden Bedingungen optimaler Abstandhaltung in der Verteilzone und optimalen Einfädelns im Richtungsgleis ziemlich gut miteinander vertragen. Es erwies sich allerdings als notwendig, für die Richtungsgleisbremsen den Algorithmus des «Bremsens im letzten Moment» derart abzuwandeln, dass in Abhängigkeit des Gesamtgewichts des Ablaufs der Einschaltzeitpunkt etwas früher als eben «im letzten Moment» liegt (partiell verzögertes Einschalten). Eine weitere Voraussetzung für das Gelingen des optimalen Einfädelns ins Richtungsgleis scheint das Steuern der Talbremsen nach dem erweiterten 2*DELTV-Verfahren zu sein; dabei werden die Einlaufgeschwindigkeit des Grenz-Schlechtläufers in die Talbremse, die Vergleichsgeschwindigkeit und der Brechungs faktor nicht mehr als konstante Werte, sondern in Form von «Leitkurven» in Funktion der Länge der Abläufe angegeben.

⁸⁾ Das viel missbrauchte Schlagwort ist hier sachlich berechtigt; es handelt sich um eine integrierende Messung zwischen Ablaufbergipfel und Messstelle der Geschwindigkeit über den erfassten Wagenpark.

⁹⁾ Genauer: Bei Erreichen der Lösegeschwindigkeit der Richtungsgleisbremse!

Da der Algorithmus der Richtungsgleisbremsensteuerung keinen zusätzlichen Freiheitsgrad enthält, läuft die praktische Berechnung auf eine punktweise, iterative Bestimmung der Leitkurven hinaus. Da für Abläufe bis zu z. B. 250 m Länge mindestens sechs bis sieben Stützstellen für eine eindeutige Festlegung der Leitkurven notwendig sind, ferner zur Berechnung jeder Stützstelle drei bis vier Iterationsschritte sowohl für Abläufe aus Grenz-Gutläufern wie aus Grenz-Schlechtläufern erforderlich sind, leuchtet sicherlich ein, dass ohne Hilfe eines Computer-Programms zur Ermittlung der Zeit-Wege-Linien kaum mehr auszukommen ist.

Es sei abschliessend erwähnt, dass der Steuerung sowohl der Hauptablaufanlage wie der Nebenablaufanlage des Rangierbahnhofs Zürich-Limmattal das Verfahren des optimalen Einfädelns im Richtungsgleis zugrunde gelegt wurde.

7. Schluss

Die durchgeführten Untersuchungen und die erhaltenen Ergebnisse lassen deutlich erkennen, dass das «kybernetische System» des automatischen Ablaufbetriebs ausserordentlich kompliziert ist. Es verhält sich keineswegs derart einfach, dass es mit anscheinend logischen, einfachen Überlegungen und pauschalen Überschlagsrechnungen zu durchschauen wäre, wie ähnliches von vielen anderen Steuerungsvorgängen im Bereich des Eisenbahnwesens gilt.

Es ist deshalb grundsätzlich falsch, von Anfang an die Durchführung von Betriebsversuchen anzustreben, ohne das Verhalten des Steuerungssystems mit Hilfe sorgfältiger mathematischer Modelle unter Zuhilfenahme der Möglichkeiten der Computer-Rechentechnik gründlich zu erproben. Mag auch der Aufwand für die Entwicklung mathematischer Simulationsmodelle und der zugehörigen Computer-Programme gross und vor allem zeitraubend erschienen, er steht in gar keinem Verhältnis zu den Verlusten, die aus ungeeigneten Steueralgorithmien für die die Geschwindigkeit der Abläufe beeinflussenden Einrichtungen sowie aus unzulänglichen Konfigurationen dieser Einrichtungen entstehen. Bedauerlicherweise wird aber angesichts der tatsächlich erheblichen konstruktiven Schwierigkeiten mit den die Geschwindigkeit der Abläufe in Ablaufanlagen beeinflussenden Elementen auf theoretisch saubere Steueralgorithmien vielfach geringer Wert gelegt, indem jene derart zentral das Blickfeld beherrschen, dass man glaubt, hier mit primitiven Mitteln durchzukommen. Und selbst dann, wenn die grundsätzliche Berechtigung eines theoretisch sauberen Steueralgorithmus anerkannt ist, besteht doch die Tendenz, diesen «für die Praxis» weitgehend zu vereinfachen.

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. H. König, Bauabteilung, GD SBB, Mittelstrasse 43, 3000 Bern.

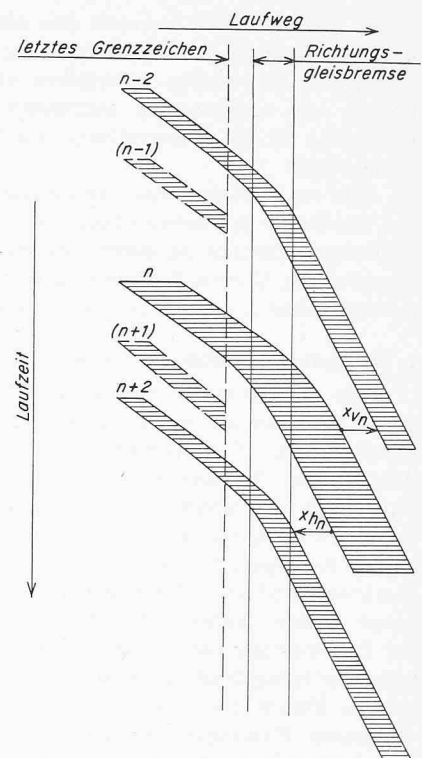


Bild 1. Prinzip des «optimalen Einfädelns» im Richtungsgleis

Bedingung dafür:

$$x_{vn} \stackrel{!}{=} x_{hn}$$

$n-2; n+2$ Bezugsablauf (z. B. Grenz-Schlechtläufer)

n zu steuernder Ablauf

x_v Pufferdistanz nach vorn

x_h Pufferdistanz nach hinten

Literatur

- [1] H. König und W. Buser: Ablaufberg-Simulation «Rangiertechnik», Heft 25 (1965), S. 21.
- [2] W. Müller: Eisenbahnanlagen und Fahrdynamik. Bd. 1, S. 205, Berlin 1950, Springer.
- [3] O. Amman und F. Raab: Collineare Rechentafeln für die Bestimmung von Zeit- und Geschwindigkeitsweglinien ablaufender Eisenbahnfahrzeuge. «Verkehrstechn. Woche» 25 (1931), S. 344.
- [4] W. Mittmann: Isochroner Ablauf von Einzelwagen in Rangieranlagen. «Archiv für Eisenbahntechnik», Heft 26 (1971).
- [5] H. König: Die Laufeigenschaftenmessungen der Schweiz. Bundesbahnen an Einzel- und Gruppenabläufen im RB Chiasso, 1. Teil: Einzelabläufe. «Monatsschrift der Internationalen Eisenbahnkongress-Vereinigung» 46 (1969), Juni-Heft.

Simulation des Strassenbahnbetriebes

Von M. Besch, Zürich

DK 656.027:656.04:625.6

1. Einleitung

Das zunehmende Verkehrsaufkommen, die wachsenden Verkehrsprobleme unserer Städte und die damit sprunghaft wachsenden Sorgen der Nahverkehrsbetriebe (Wettbewerbsstellung zum Privatverkehr) zwingen Planer und Ingenieure, neue Verfahren zu finden, um komplexe Planungsprobleme rationeller zu lösen. Im Verkehrswesen hat man es meist mit grossen, stark verflochtenen und von Zufälligkeiten beeinflussten dynamischen Systemen zu tun.

Die neuesten Erkenntnisse der Computertechnologie und der mathematischen Methoden des Operation Research haben

in jüngster Zeit neue Möglichkeiten der Planungstechnik eröffnet. Insbesondere hat sich die Simulationstechnik durchgesetzt.

Die Studienabteilung der Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich hat in Zusammenarbeit mit der Firma Häusermann & Co., Zürich, Unternehmungsberatung und Betriebsorganisation, sowie der ASI, Applied Studies International, Zürich, begonnen, ein Simulationsmodell zu erarbeiten, das nach seiner Fertigstellung erlaubt, alle Situationen und Möglichkeiten des modernen Strassenbahnbetriebes zu simulieren. Mit diesem Modell sollen vor allem Ausbauvarianten quantitativ miteinander verglichen werden können. Damit ist man