Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 25

Artikel: Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen
Autor: Giger, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76635

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: 09.07.2025

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

die in sechs Stunden bis zu 140 m³ Beton produziert, hat die beachtliche Länge von 150 m (Bild 14).

Logistik

Je nach der Grösse der Kubaturen, die an- und abtransportiert werden müssen, wird man sich ein Konzept zurechtlegen, das umweltbewusst per Bahn funktioniert. So ist es möglich, den Tunnelausbruch auf der Schiene in Deponien, die über Bahnanschluss verfügen, zu transportieren oder aber den Betonkiesantransport über die Schiene zu organisieren. Gleiches gilt für grössere vorfabrizierte Elemente, die ab Werk auf der Schiene herangeholt werden können.

Menschliche Aspekte einer Tunnelsanierung

Das gute Gelingen einer Tunnelsanierung ist nur gewährleistet, wenn gute Equipen und gute Kader an der Arbeit sind. Schlecht qualifizierte Leute haben auf derart heiklen Baustellen kein Brot. Eine straffe Führung ist notwendig, um die Belegschaft, die unter schwierigen Bedingungen zu arbeiten hat, zusammenzuhalten (Bild 15).

Die Anforderungen an alle Beteiligten sind sehr gross. Daher ist es von ausserordentlicher Wichtigkeit, dass die verantwortlichen Vertreter des Bauherrn, der Projektierung und der Bauleitung, wie auch der Unternehmung, die gleiche Sprache sprechen. Individualitäten mit Prestigedenken sind in einem Tunnelsanierungsprojekt am falschen Platz.

Allen Berufskollegen, die sich in Zukunft mit Tunnelsanierungsarbeiten zu befassen haben, möge ein ideenreicher Kopf in der Planung und eine unfallfreie, gut organisierte, sichere Durchführung beschieden sein.

Adresse des Verfassers: Prof. *R. Fechtig*, Vorsteher des Institutes für Bauplanung und Baubetrieb, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen

Von Peter Giger, Zürich

Im Jahre 1981 wurde am ETH-Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau unter Leitung von Prof. Hans Grob ein Softwareprojekt begonnen. Es sollte ein Programmpaket zur Simulation von Eisenbahnnetzen auf Kleincomputern entwickelt werden. Diese Programme wurden später in Abkürzung von Railway Simulations RWS genannt. Mit RWS kann auf marktüblichen Personalcomputern das ganze Eisenbahnnetz der Schweiz gleichzeitig simuliert werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten beim Entwurf von Fahrplänen. Erstmals können verschiedene Fahrplanprojekte gleichzeitig entwickelt und in allen betrieblichen Aspekten verglichen werden. Als weitere Möglichkeit können die Auswirkungen von Eisenbahnbauprojekten auf die Einhaltung des Fahrplanes abgeklärt werden.

Das Modell

Algorithmen

Die mathematische Beschreibung des Fahrverhaltens eines Zuges ist jedem Betriebsfachmann bekannt [1]. Gewisse Probleme bieten die Adhäsion, wozu kein befriedigendes theoretisches Modell besteht, und die Geschwindigkeitsregelung durch den Lokomotivführer. Für die Simulation grosser Eisenbahnnetze müssen die Algorithmen für kurze Rechenzeiten eingerichtet werden. Bei RWS sind nichtlineare Funktionen in Tabellen gespeichert, damit aufwendige arithmetische Operationen durch Zugriffe auf Stützwerte der Funktion ersetzt werden. Lineare Funktionen im reellen Zahlenbereich wurden auf Operationen im integern Bereich umgeformt.

Datenstrukturen

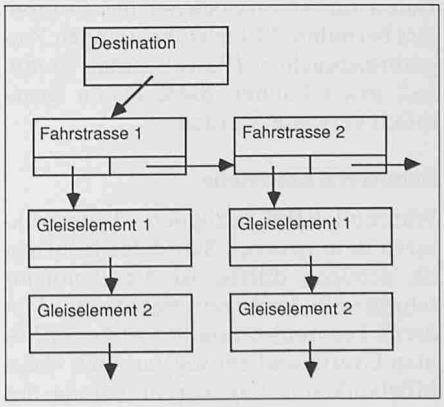
Die Parameter zur Berechnung des Fahrverhaltens sind durch die Eingabedaten bestimmt. RWS verlangt vom Benutzer eine Unterteilung des Gleisnetzes an Stellen mit Informationsübertragung zwischen festen Bahnanlagen und Zügen (z. B. Signale oder Gleisisolierungen bei Weichen) sowie bei Änderung der Krafteinwirkungen auf die Züge (Wechsel der Steigung, Tunnelportal usw.). Das Gleisnetz zerfällt somit in Elemente, deren Attribute aus der Länge, Steigung und weiteren Informationen bestehen, die mathematische Eigenschaften einer Menge aufweisen [2].

Das Zusammenfügen der Gleiselemente zum ganzen Netz erfordert eine leistungsfähige Datenstruktur. Der Weg, die Elemente gemäss Grafentheorie als Kante zu deuten, liegt nahe. Bei RWS wurde jedoch eine andere Lösung gewählt. Hier werden die Elemente in der Reihenfolge, wie sie von den Zügen befahren werden, als Liste im Sinne der Informatik aufgefasst. Einige Vor- und Nachteile dieser Konzepte seien kurz erwähnt:

- Der grafentheoretische Ansatz benötigt mehr Daten und führt zu aufwendigeren Algorithmen als das Listenkonzept.
- Die Redundanz ist beim grafentheoretischen Ansatz grösser, was schärfere Tests an den Eingabedaten ermöglicht. Umgekehrt ist das Listenkonzept flexibler für komplizierte Betriebsabläufe.
- Grafentheoretisch abgestützte Programme können gewisse Optimierungsprobleme lösen (Suche von kürzesten Wegen usw.), während beim Listenkonzept die Züge nur den vom Programmbenutzer eingegebenen Routen folgen

Sinnvolle Strukturierungsmerkmale sind Fahrstrasse und Blockabschnitt, da das Sicherheitskonzept der Stellwerke darauf abgestellt ist. Eine Fahrstrasse (mit allfällig anschliessendem Blockabschnitt) wird als Liste von Gleiselementen definiert. Durch Stellwerke wird sichergestellt, dass sich nur ein Zug in der gleichen Fahrstrasse aufhalten (oder in die Fahrstrasse einfahren) darf. Fügt man jedem Element ein Attribut hinzu, das die Zustände

Bild 1. Datenstruktur der Gleiselemente bei RWS-Programmen



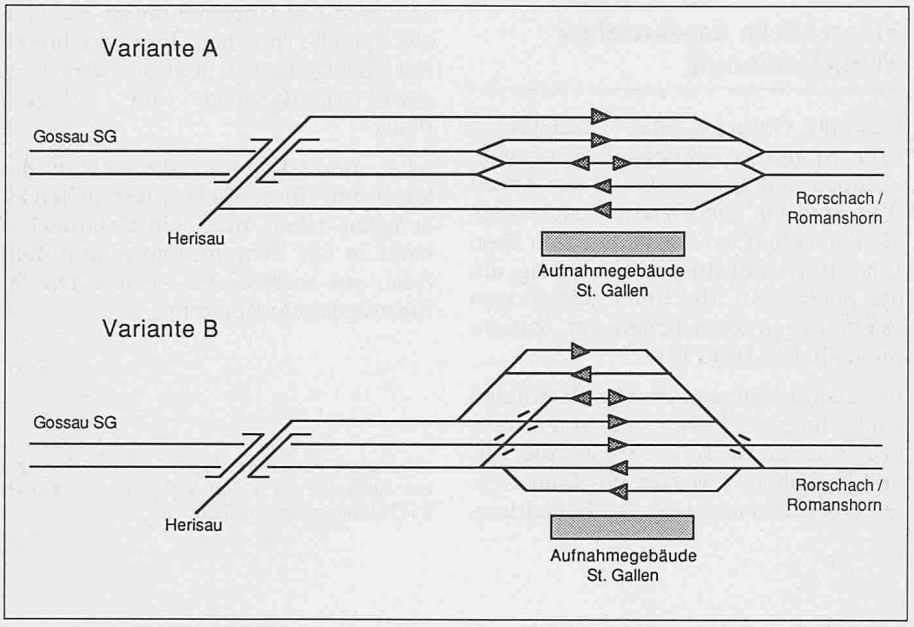


Bild 2. Vereinfachtes Gleisschema für Ausbauvarianten des Bahnhofs St. Gallen

- besetzt, d. h. ein Zug befindet sich auf dem Gleiselement,
- belegt, d. h. ein Zug fährt zum betreffenden Gleiselement und
- frei

annehmen kann, ist die Funktionsweise der Stellwerke einfach zu beschreiben: Eine Fahrstrasse darf nur dann freigegeben werden, wenn alle Gleiselemente der betreffenden Liste frei sind.

Den Fahrstrassen muss eine weitere Struktur überlagert werden, die mit dem Begriff Destination umschrieben werden kann. Sie besteht aus einer Liste von Fahrstrassen, die die Reihenfolge der zu befahrenden Fahrstrassen (und damit indirekt der Gleiselemente) festlegt. Bild 1 illustriert diese Datenstruktur. Ähnlich können auch andere Simulationsdaten gegliedert werden (z. B. Fahrplan).

Bei sämtlichen Algorithmen werden die Daten in der Reihenfolge benötigt, wie sie in den Listen geordnet sind. Deshalb verursacht ein Übergang von einem Gleiselement zum nächsten nur einige Kopieroperationen, die sehr schnell ablaufen. Die Pfeile in Bild 1 bestehen aus den Adressen, wo sich die Daten im Arbeitsspeicher des Computers befinden. Mit leistungsfähigen Programmsprachen (Pascal, Ada, Modula-2 usw.) können diese Daten dynamisch verwaltet werden.

Benutzerschnittstelle

Während RWS bezüglich Datenstrukturen dem neueren Stand der Informatik genügen dürfte, ist die Benutzerschnittstelle verbesserungswürdig. Moderne Personalcomputer bieten mit Bitmap-Grafik und der sogenannten Maus Möglichkeiten zur Vereinfachung der Dateneingabe, die im Eisenbahnwesen noch von keinem Simulationsprogramm genutzt werden. Dieser Mangel führt zu unnötig grossem Arbeitsaufwand beim Programmanwender. Mit der heutigen Programmversion von RWS könnte die Datenimplementation und der Datenunterhalt für das schweizerische Eisenbahnnetz einen Ingenieur voll auslasten. Deshalb ist langfristig eine Verbesserung der Software vorgesehen, die eine direkte Dateneingabe mittels Maus ermöglicht, wobei grafische Symbole auf dem Bildschirm zu einem Gleisschema kombiniert werden können. Damit wird ein grosser Teil der Codierungsarbeit und praktisch die ganze Datendokumentation eingespart.

Anwendungen

Bauprojektbeurteilung

Für den Ausbau des Bahnhofs St. Gallen stehen mehrere Projektvarianten zur Diskussion, wovon hier zwei als Beispiel herausgegriffen werden (vgl. Bild 2). Eine Variante A sieht eine kreuzungsfreie Führung aller Verkehrsströme vor, wobei die heutige Anzahl der Perrongleise beibehalten wird. Bei der Variante B wird die Bahnhofanlage um einen zusätzlichen Perron mit zwei Gleisen vergrössert, jedoch müssen die Züge von Romanshorn nach Herisau bei der Bahnhofeinfahrt wie beim heutigen Zustand die entgegenkommenden Verkehrsströme kreuzen. Es stellt sich die Frage, ob die Variante A mit der Entflechtung der Verkehrsströme oder die Variante B mit der Vergrösserung der Gleiszahl weniger Zugsbehinderungen verursachen. Das Problem konnte mit RWS eindeutig geklärt werden; die Variante A ist in dieser Hinsicht besser, obwohl viele Züge sich im Bahnhof verhältnismässig lange aufhalten [3].

Fahrplanuntersuchungen

Die Inbetriebnahme der Zürcher S-Bahn wird zu einer tiefgreifenden Umstrukturierung des Fahrplangefüges führen. Im Jahre 1983 wurde von den SBB ein Fahrplanentwurf erarbeitet, aufgrund dessen im Kanton Zürich eine Volksabstimmung für Doppelspurausbauten im Knonauer Amt und im Glattal durchgeführt wurde. Der Entwurf wurde mit RWS nachgerechnet. Ausserdem wurde mit Unterstützung dieses Programmpaketes ein weiterer Fahrplanvorschlag mit gleichem Rollmaterial entworfen [4]. Der Vergleich der beiden Varianten lieferte erstaunliche Ergebnisse:

- Die angebotenen Zugkilometer konnten um 12% und die Sitzplatzkilometer um 14% gesteigert werden, obwohl die Haltezeiten auf allen Bahnhöfen von 30 auf 40 Sekunden verlängert wurden.
- Die gegenseitigen Zugbehinderungen konnten um rund zwei Drittel verringert werden.
- Unter 32 repräsentativ ausgesuchten Bahnhöfen konnten 20 zusätzliche Verbindungen eingeführt und 645 fahrplanmässig angebotene Relationen im Durchschnitt um 10,5 min verkürzt werden (allerdings wurden 213 andere Relationen im Durchschnitt 7,5 min verlängert, während 134 Verbindungen gleich schnell blieben).
- Auf der Linie Oberglatt–Niederweningen konnte die Zugzahl verdoppelt werden, so dass dort jede halbe Stunde ein S-Bahn-Zug verkehren könnte.
- Im Knonauer Amt kann der 30-Minuten-Takt ohne Doppelspurausbauten eingeführt werden.

Adresse des Verfassers: Dr. *P. Giger*, dipl. Ing. ETH, Chef Sektion Eisenbahnbau, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.

Literatur

[1] *Müller, W.*: Die Fahrdynamik der Verkehrsmittel. Springer Verlag, Berlin 1940.
[2] *Giger, P.*: Simulation von Eisenbahnsystemen mit RWS-1. Schriftenreihe des IVT Nr. 65, Zürich 1987.
[3] *Giger, P.*: Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Eisenbahnanlagen. Diss. Nr. 7571, ETH Zürich.
[4] *Rey, G.*: Fahrpläne für die Zürcher S-Bahn. Schriftenreihe des IVT Nr. 63, Zürich 1986.