Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111 (1993)
Heft: 33/34

Artikel: Überwerfung von Eisenbahnlinien
Autor: Giger, Peter / Montigel, Markus
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78225

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: 15.07.2025

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

Daraus kann geschlossen werden, dass sich für Sanierungsarbeiten auf der Basis des kathodischen Korrosionsschutzes der Bewehrung Mörtelsysteme auf PC-Basis ohne grössere Anteile von Zusätzen wie Microsilica, Silicafume oder Kunststoffen hervorragend eignen.

Schlussbemerkungen

Mit diesen Versuchen wurden die Parameter erarbeitet und überprüft, um den Korrosionszustand von Stahl in Beton durch Potentialmessungen zu beurteilen.

Die klaren Zusammenhänge zwischen Chloridgehalt, relativer Feuchtigkeit und Potentiallage ergibt eine Basis, die zur Ermittlung von «Ist-Zuständen» bezüglich des Korrosionszustandes gemäss SIA-Merkblatt 2006 [2] verwendet werden kann.

Gleichzeitig wurde das Verhalten der Stahlproben unter unterschiedlichen Stromdichten und bei unterschiedlichen relativen Feuchtigkeiten gemessen und Chloridgehalt sowie relative Feuchtigkeit als relevante Parameter für die Korrosivität der Betonmatrix für die Bewehrungsstähle bestätigt respektive aufgezeigt. Es wurden auch Grundlagen geschaffen, die Sicherheit des kathodischen Korrosionsschutzes von Bewehrungsstählen in chloridhaltigem Beton zu gewährleisten.

Damit stehen Unterlagen zum Einsatz des kathodischen Korrosionsschutzes von Bewehrungsstählen in chloridhaltigem Beton zur Verfügung. Somit wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, chloridhaltige Strukturen ohne Ersatz des chloridkontaminierten Betons sicher instand zu stellen.

Zur Beurteilung des Korrosionsschutzes kathodisch geschützter Bewehrungsstähle wurden ebenfalls Unterlagen geschaffen, d.h. elektrochemische Potentialbereiche erarbeitet und das Depolarisationskriterium als Prüfwert bestätigt.

Damit besteht eine Basis, um kathodisch geschützte Betonstrukturen sicher und mit relativ geringem Aufwand bezüglich Korrosionssicherheit zu überwachen.

Wir danken dem Bundesamt für Strassenbau, welches diese Forschungsarbeiten im Rahmen der Unterhaltsforschung von Betonstrukturen ermöglicht hat [3].

Adressen der Verfasser: *Dr. R.O. Müller,* Helbling Ingenieurunternehmung AG, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich; und *Dr. K. Holtzhauer,* Techn. Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg.

Überwerfung von Eisenbahnlinien

Für die Autobahnen haben sich kreuzungsfrei verflochtene Verkehrsknoten durchgesetzt. Die Gründe liegen bei der guten Leistungsfähigkeit und kleinen Unfallhäufigkeit dieser Verknüpfungsanlagen. Es stellt sich die Frage, ob Überwerfungen bei Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnlinien ähnliche Vorteile bieten. Die Frage ist in der Schweiz aktuell, da mit «Bahn 2000» und den neuen Alpentransversalen grosse Investitionsprogramme bevorstehen, die zu einem eng verflochtenen Hochgeschwindigkeitsnetz mit grosser Zugdichte führen.

Problemstellung

Aus der Sicht des Verkehrsingenieurs weisen Strassen- und Eisenbahnknoten wenig Gemeinsamkeiten auf, was bei

VON PETER GIGER UND MARKUS MONTIGEL, ZÜRICH

allfälligen Analogieüberlegungen zur Vorsicht mahnt:

- Aus Adhäsionsgründen liegt bei der konventionellen Eisenbahn die maximal zulässige Steigung in der Grössenordnung von 1 bis 3%. Fahrleitungen erfordern lichte Höhen von 6.50 m, während bei der Strasse 4.50 m genügen. Ferner benötigt die Bahn grössere Kurvenradien als das Automobil. Aus diesen Gründen entstehen aufwendige Gleisüberwerfungen, die viel Kapital binden und bei der benachbarten Bevölkerung häufig zu Widerständen aus Gründen des Landschaftsschutzes führen.
- Im Gegensatz zur Strasse spielen für die Eisenbahn Sicherheitsüberlegungen bei der Knotengestaltung keine Rolle. Kollisionsrisiken werden an höhengleichen Kreuzungsstellen durch die Stellenwerkanlagen mit ausreichender Sicherheit unterbunden.
- Bezüglich Leistungsfähigkeit sind kaum Analogien zwischen Strasse und Eisenbahn gegeben. Automobile verkehren in grosser Zahl nach stochastischen Gesetzmässigkeiten, während Züge seltener auftreten und nach konstruierten Fahrplänen verkehren.

Der Fahrplan stellt ein kostengünstiges Steuerungsinstrument dar, das bei der Eisenbahn zur Vermeidung von Behinderungssituationen an höhengleichen Gleisverflechtungen eingesetzt werden kann. Somit ist ein Hilfsmittel gesucht, das der Quantifizierung des Nutzens von Gleisüberwerfungen bei gegebenen Fahrplänen dient. Hier spielt das Problem der Zugverspätungen eine massgebende Rolle, was mit der mathematischen Statistik untersucht werden kann.

Häufigkeitsverteilung von Zugverspätungen

Für die Häufigkeitsverteilung von Zugverspätungen wurden in der Fachliteratur verschiedene Ansätze vorgeschlagen. Für das vorliegende Problem wird ein Ansatz gewählt, der die empirisch festgestellten Häufigkeitsverteilungen befriedigend genau beschreibt und eine einfache mathematische Bearbeitung der Fragestellung ermöglicht. Es handelt sich um die Exponentialverteilung mit folgender Dichtefunktion:

$$h(t) = \frac{e^{-(t/m)}}{m} \quad (1)$$

Hier bedeutet h die Häufigkeit einer Zugverspätung der Grösse t, e die Basis der natürlichen Logarithmen und m den Mittelwert aller Verspätungen. Bild 1 zeigt ein Beispiel einer Häufigkeitsverteilung der Zugverspätungen als Histogramm mit dazugehöriger Näherung als Exponentialverteilung.

Bei der Exponentialverteilung lässt sich die Häufigkeit durch den Mittelwert m

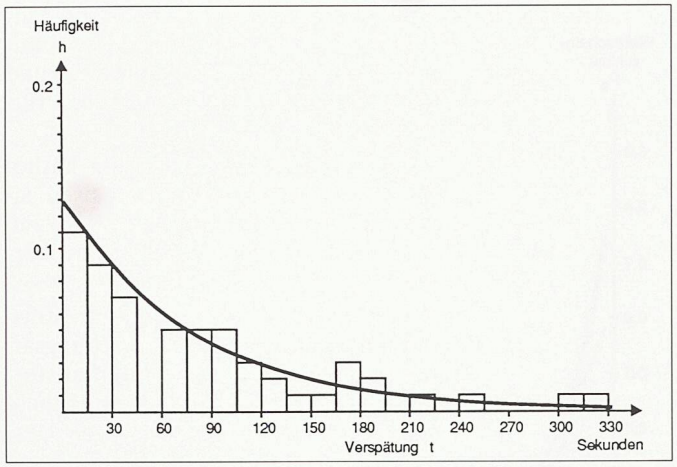


Bild 1: Häufigkeitsverteilung der Zugverspätungen im Bahnhof Gossau SG in Fahrrichtung St. Gallen am 16.4.1983 mit angenäherter Exponentialverteilung

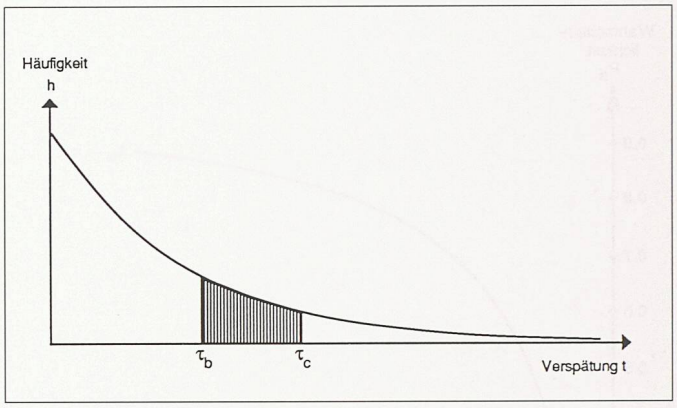


Bild 3. Interpretation der Wahrscheinlichkeit einer Behinderung des Zuges A durch den verspäteten Zug B als Fläche zwischen τ_b und τ_c. Bei Verspätungen kleiner als τ_b bleibt der Zug A ungestört. Bei Verspätungen grösser als τ_c wird an der Kreuzungsstelle die Reihenfolge der Züge vertauscht

aller Verspätungen charakterisieren. Dieser Wert kann für praktizierte Fahrpläne erhoben werden (im Fall von Bild 1 beträgt er 78 Sekunden). Hingegen ist er bei Bau- und Fahrplanprojekten in der Regel nicht genügend genau bekannt.

Die Funktionswerte h sind nur für Verspätungen $t \geq 0$ definiert. Diese Einschränkung kann bei vorzeitig verkehrenden Zügen zu Komplikationen führen. Das Problem kann durch eine geringfügige Modifikation des Verspätungsbegriffes umgangen werden, worauf hier nicht weiter eingegangen wird (1).

Auswirkung der Verspätung auf ungestörte Züge

Als erste Problemstellung wird der Einfluss verspäteter Züge auf ungestörte Züge bei höhengleichen Kreuzungsstellen untersucht. In Bild 2a steht ein Zug A vor dem Ausfahrsignal S zur Abfahrt bereit. Die fahrplanmässig vorgesehene Abfahrt des Zuges A sei T_a. Er muss zwischen den Punkten K und L ein Gleis kreuzen, das kurz vorher von einem Gegenzug B passiert wird.

Zur Vermeidung einer Verspätung des Zuges A muss der Zug B die Kreuzungsstelle im Zeitpunkt T_a freigegeben haben, das heisst, das Ende des Zuges B muss gemäss Bild 2b die Stelle K passiert haben. Zusätzlich muss eine Reaktionszeit für das Stellwerk eingeräumt werden, während der die Freigabe der Kreuzung L-K festgestellt und die Fahrstrasse ab Signal S auf Fahrerlaubnis geschaltet wird (bei modernen Stellwerken beträgt die Reaktionszeit 5 bis 10 Sekunden, wobei in erster Linie die Zeitdauer für das Umstellen der Weichen massgebend ist). Der Zeitpunkt für die Fahrstrassenfreigabe ab Signal S (bei unverspätetem Zug B) wird mit T_b bezeichnet. T_b kann durch eine Zuglaufrechnung berechnet werden, wobei die genaue Fahrplanlage des Zuges B, die örtlichen Verhältnisse an der Kreuzungsstelle und die Stellwerkkonstruktion berücksichtigt werden. Somit wird der effektive Zeitpunkt der Fahrstrassenfreigabe für den Zug A durch den Wert T_b zuzüglich der Verspätung des Zuges B angegeben, die durch eine Exponentialverteilung angenähert wird.

Im folgenden wird der Zeitraum zwischen T_a und T_b als τ_b bezeichnet:

$$\tau_b = T_a - T_b$$

Zur Vermeidung von Zugbehinderungen werden die Fahrpläne derart konstruiert, dass der Zug B die Kreuzungs-

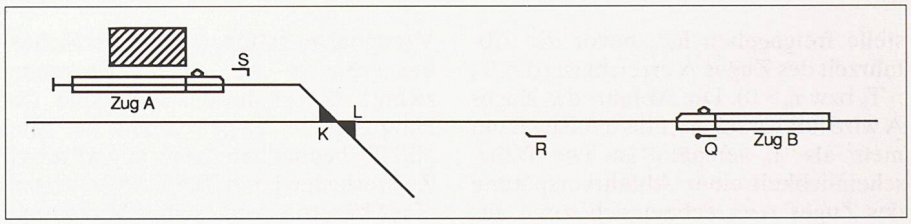


Bild 2a. Ausgangssituation eines Konfliktfalles: Der Zug A steht zur fahrplanmässigen Abfahrt im Zeitpunkt T_a bereit. Er muss jedoch warten, bis der Zug B die Kreuzungsstelle L-K passiert hat

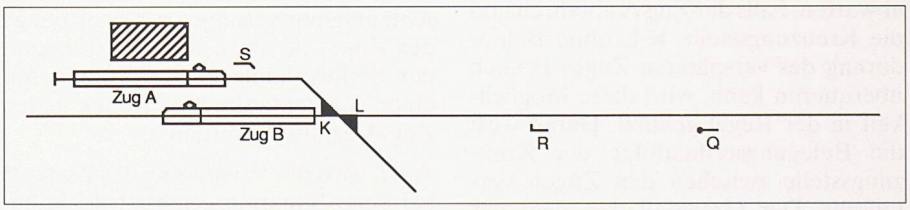


Bild 2b. Situation im Zeitpunkt T_b: Der Zug B hat die Kreuzungsstelle L-K freigegeben und das Ausfahrsignal S wurde für den Zug A freigegeben. (Für die Definition von T_b gilt die Annahme, dass der Zug B keine Verspätung aufweist)

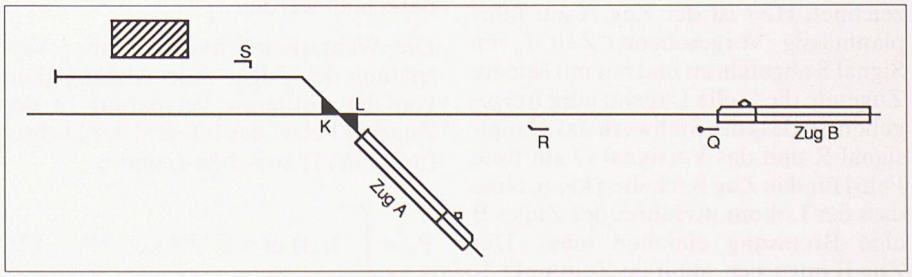


Bild 2c. Situation im Zeitpunkt T_c als Grenzfall, bei dem die Reihenfolge der Züge A und B ohne Bremsung des Zuges B noch abgetauscht werden kann. Die Verspätung des Zuges B beträgt in dieser Situation τ_c

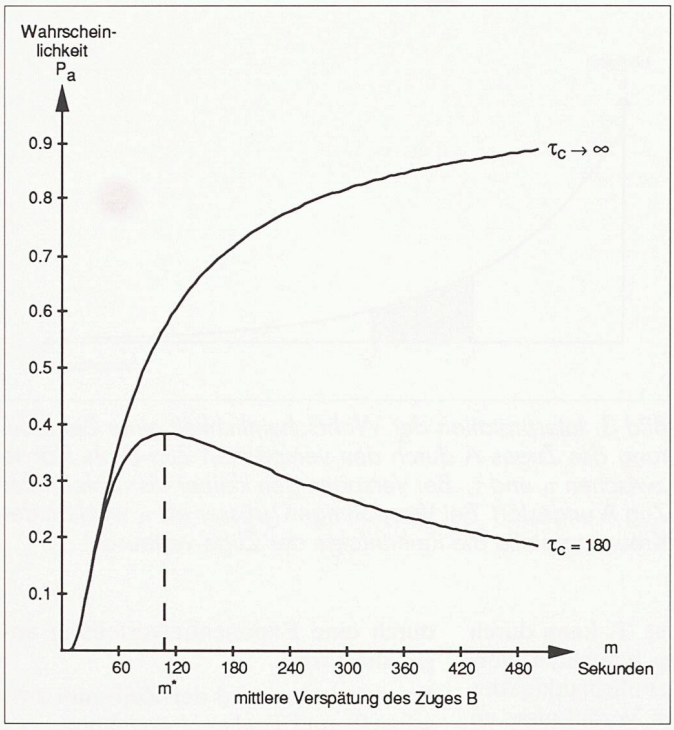


Bild 4. Wahrscheinlichkeit P_a einer Behinderung des Zuges A bei knapper Zeitdifferenz zwischen zwei Zügen (τ_b = 60) in Abhängigkeit zur mittleren Verspätung des Zuges B. Es ist der Fall, dass an der Kreuzungsstelle keine Vertauschung der Züge zugelassen ist (d.h. $\tau_c \to \infty$), und der Fall einer Vertauschung der Züge bei grösseren Verspätungen (τ_c = 180) dargestellt

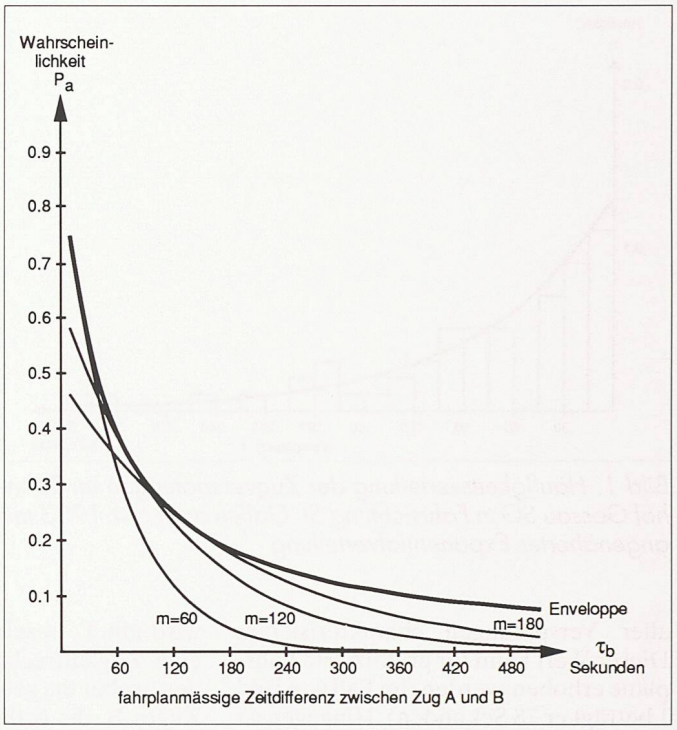


Bild 5. Behinderungswahrscheinlichkeit P_a in Abhängigkeit zur fahrplanmässig eingeräumten Zeitdifferenz τ_b an der Kreuzungsstelle bei verschiedenen mittleren Verspätungen m des Zuges B, wobei ein Abtausch der Züge an der Kreuzungsstelle zugelassen ist ($\tau_c - \tau_b$ = 120 Sekunden). Die Enveloppe zeigt die grösste Behinderungswahrscheinlichkeit P aus allen Verspätungsmittelwerten*

stelle freigegeben hat, bevor die Abfahrzeit des Zuges A erreicht ist (d.h. $T_a > T_b$ bzw $\tau_b > 0$). Die Abfahrt des Zuges A wird nur verzögert, falls der Zug B um mehr als τ_b verspätet ist. Die Wahrscheinlichkeit einer Abfahrverspätung des Zuges A errechnet sich somit aus dem Integral der Dichtefunktion (1) mit der unteren Grenze bei τ_b.

In der Praxis wird der Zug A nicht beliebig grosse Verspätungen des Zuges B abwarten. Falls der Zug A abfahren und die Kreuzungsstelle K-L ohne Behinderung des verspäteten Zuges B noch überqueren kann, wird diese Möglichkeit in der Regel genutzt. Damit wird die Belegungsreihenfolge der Kreuzungsstelle zwischen den Zügen vertauscht. Der Grenzfall, bei dem der Zug A die Kreuzungsstelle K-L ohne Behinderung des Zuges B gerade noch passieren kann, ist in Bild 2c festgehalten. Dieser Zeitpunkt wird mit T_c bezeichnet. Hier ist der Zug A zur fahrplanmässig vorgesehenen Zeit T_a am Signal S abgefahren und hat mit seinem Zugende die Stelle L rechtzeitig freigegeben, so dass das Stellwerk das Hauptsignal R und das Vorsignal Q auf freie Fahrt für den Zug B schalten kann, ohne dass der Lokomotivführer des Zuges B eine Bremsung einleiten muss. Der Zug B muss sich somit im Zeitpunkt T_c unmittelbar vor dem Vorsignal Q befinden. Andernfalls würde dessen Lokomotivführer ein geschlossenes Vorsignal antreffen, was ihn aus Sicherheitsgründen zu einer Bremsung zwingt, bis er in die Sichtnähe des Hauptsignales R gekommen ist. Eine allfällig begonnene Bremsung würde zu Zeitverlusten beim Zug B und damit zu einer Vergrösserung seiner Verspätung führen.

Der Zeitpunkt T_c hängt vom Fahrplan des Zuges A, der Lage der Kreuzungsstelle K-L und des Signales S, dem Beschleunigungsvermögen und der Länge des Zuges A sowie der Reaktionszeit der Stellwerkanlage ab. T_c kann mit einer Zuglaufaufrechnung für jeden Zug A ermittelt werden.

Als τ_c wird die Verspätung des Zuges B bei einer Situation gemäss Bild 2c bezeichnet, so dass sich dieser Zug im Zeitpunkt T_c gerade noch vor dem Vorsignal Q befindet. Der Wert kann durch eine Zuglaufrechnung für den Zug B berechnet werden.

Die Wahrscheinlichkeit P_a einer Verspätung des Zuges A in Abhängigkeit von der mittleren Verspätung m des Zuges B liefert das Integral der Dichtefunktion (1) zwischen τ_b und τ_c.

$$P_a = \int_{\tau_b}^{\tau_c} h(t)\,dt = e^{-(\tau_b/m)} - e^{-(\tau_c/m)} \qquad (2)$$

In Bild 3 wird die Wahrscheinlichkeit P_a als Fläche der Verspätungsverteilung des Zuges B zwischen τ_b und τ_c interpretiert. Diese Deutung wird im nächsten Kapitel aufgegriffen.

Die Bezeichnung (2) gibt nur die Wahrscheinlichkeit einer Behinderung an. Sie sagt jedoch nichts über die Grösse der daraus resultierenden Verspätung aus.

Nachdem bei der Projektierung einer Bahnanlage oder eines Fahrplanes die Verspätungen unbekannt sind, interessiert besonders die Empfindlichkeit der Behinderungswahrscheinlichkeit in Funktion der mittleren Verspätung. Fahrpläne werden in der Regel so konstruiert, dass τ_b mehr als 60 Sekunden beträgt, um einer übermässigen Verspätungsanfälligkeit vorzubeugen. In Bild 4 ist der Fall τ_b = 60 Sekunden dargestellt. Falls auf die Möglichkeit einer Vertauschung der Züge an der Kreuzungsstelle verzichtet wird (d.h. $\tau_c \to \infty$), entsteht eine monoton zunehmende Funktion. Die Vertauschungsmöglichkeit der Züge führt bei grossen Verspätungen des Zuges B zu einer Reduktion der Behinderungswahrscheinlichkeit. Diese Reduktion ist von der Differenz $\tau_b - \tau_c$ abhängig. Bei schweizerischen Verhältnissen liegt diese Differenz bei 2 Minuten, was für τ_b rund 180 Sekunden ergibt. Dieser Fall ist in Bild 4 eingetragen.

In Fällen mit zugelassener Vertauschung der Züge tritt bei einer be-

stimmten mittleren Verspätung ein Maximum der Behinderungswahrscheinlichkeit auf. Dieses Verspätungsmittel wird m* genannt und lässt sich ermitteln, indem die erste Ableitung nach m der Wahrscheinlichkeitsfunktion (2) Null gesetzt wird.

$$m^* = \frac{\tau_b - \tau_c}{\ln(\tau_b) - \ln(\tau_c)}$$

Die maximale Behinderungswahrscheinlichkeit wird als P* bezeichnet. Sie weist in algebraischer Darstellung eine komplizierte Form auf, so dass sich in praktischen Fällen eine numerische Berechnung aufdrängt, indem der Wert m* gemäss Beziehung (3) berechnet und anschliessend in der Gleichung (2) eingesetzt wird.

Nachdem die mittlere Verspätung m häufig unbekannt ist, wird eine Methode zur Eliminierung dieser Grösse interessant. Bild 5 zeigt die Behinderungswahrscheinlichkeit P_a des Zuges A für verschiedene Verspätungsmittel m in Abhängigkeit zu τ_b. In diesem Beispiel wurde die Differenz $\tau_b - \tau_c$ auf 120 Sekunden angesetzt. Die Schar aller Funktionen P_a mit unterschiedlicher mittlerer Verspätung wird durch eine Hüllkurve (Enveloppe) begrenzt, die in Bild 5 ebenfalls dargestellt ist. (Die mathematische Darstellung der Hüllkurve kann aus den Beziehungen (2) und (3) hergeleitet werden.) Somit kann die Wahrscheinlichkeit auf der sicheren Seite abgeschätzt werden, indem man die Funktion P_a (m, τ_b, τ_c) durch die umhüllende Enveloppe P* (τ_b, τ_c) ersetzt. In praktischen Fällen (d.h. $\tau_b \approx 2$ Minuten, mittlere Verspätung zwischen 80 und 120 Sekunden) liefert diese Schätzmethode brauchbare Werte.

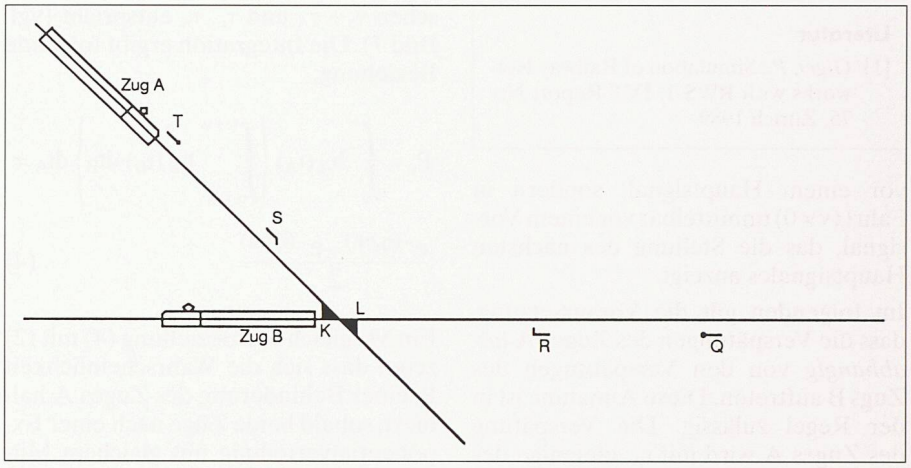


Bild 6. Konstellation zur Bestimmung der Verspätung τ_b.

Gegenseitige Auswirkung verspäteter Züge

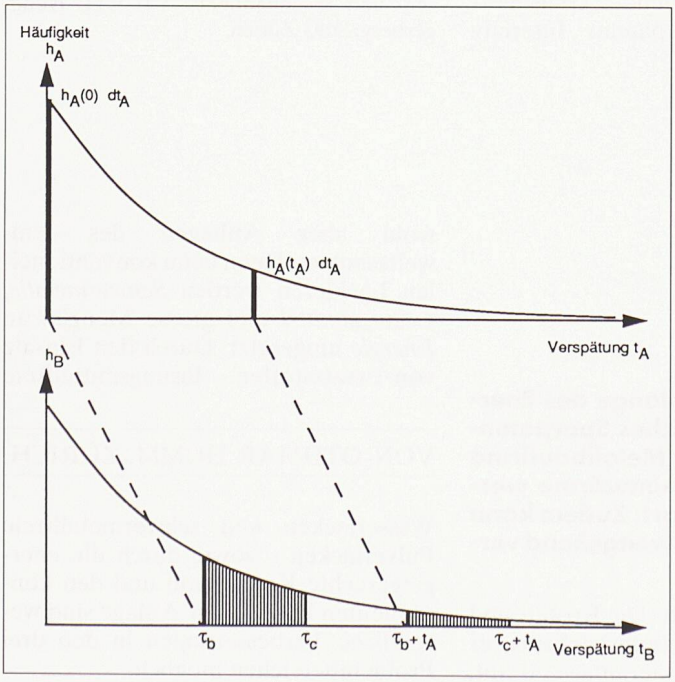
Bei den bisherigen Überlegungen wurde die Annahme getroffen, dass der Zug A zur fahrplanmässig vorgesehenen Zeit am Ausfahrsignal bereitsteht. Diese Annahme ist beispielsweise in Zugbildungsbahnhöfen erfüllt, wo die Zugkomposition zusammengestellt wird und der Lauf des Zuges beginnt. Hat der Zug A jedoch eine längere Fahrstrecke hinter sich, kann er seinerseits verspätet sein. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit einer Behinderung durch einen kreuzenden Zug beeinflusst. Dieser Fall wird im folgenden untersucht.

Als erster Schritt werden die Werte von τ_b und τ_c festgelegt. Sie sind bezüglich einem unverspäteten Zug A definiert:

- τ_b ist die grösste Verspätung des Zuges B , bei der der Zug A an der Kreuzungsstelle noch nicht behindert wird.
- τ_c ist die Verspätung des Zuges B, bei der die Reihenfolge der Züge A und B an der Kreuzungsstelle gerade noch abgetauscht werden kann, ohne dass der Zug B behindert wird.

Diese Definition deckt sich mit derjenigen aus dem vorherigen Kapitel. τ_b und τ_c sind vom Fahrplan, dem Fahrverhalten der Züge, der Stellwerkkonstruktion und den örtlichen Verhältnissen abhängig. Bild 6 zeigt eine Konstellation für die Bestimmung von τ_b. Der Zug A fährt am Vorsignal T genau zur Zeit vorbei, als der Zug B die Kreuzungsstelle L-K freigegeben hat und die Stellwerkanlage das Vorsignal T auf freie Fahrt schaltet. Es ist wesentlich, dass der Lokomotivführer des Zuges A die Freigabe seiner Fahrstrasse am Vorsignal T festgestellt hat. Andernfalls müsste er eine Bremsung einleiten, bis das Hauptsignal S in seinem Sichtbereich auftaucht.

Im Gegensatz zu Bild 2b steht der Zug A nicht mit der Geschwindigkeit v = 0



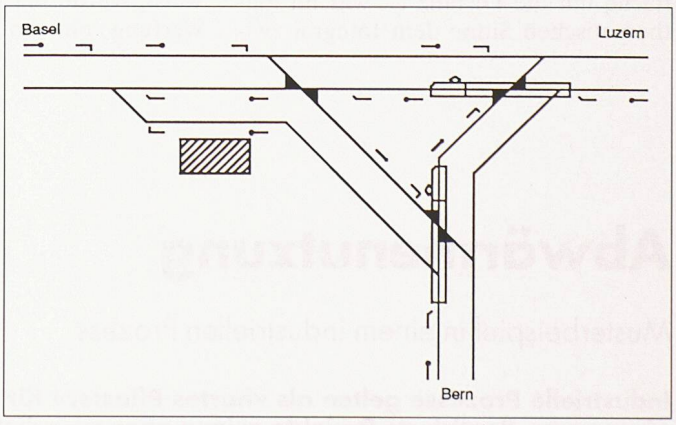


Bild 8. Gleisschema des Bahnhofs Aarburg-Oftringen mit neuer Verbindungsschleife Bern – Luzern

Bild 7. Interpretation der Wahrscheinlichkeit einer Behinderung des verspäteten Zuges A durch den verspäteten Zug B als Multiplikation der Differentialfläche $h_A \cdot dt_A$ mit der um t_A verschobenen Fläche aus der Dichtefunktion h_B mit einer Breite ($\tau_c - \tau_b$)

Literatur

[1] *Giger, P.*: Simulation of Railway Networks with RWS-1. IVT Report No. 75, Zürich 1989

vor einem Hauptsignal, sondern in Fahrt ($v \neq 0$) unmittelbar vor einem Vorsignal, das die Stellung des nächsten Hauptsignales anzeigt.

Im folgenden gilt die Voraussetzung, dass die Verspätungen des Zuges A *unabhängig* von den Verspätungen des Zugs B auftreten. Diese Annahme ist in der Regel zulässig. Die Verspätung des Zuges A wird mit t_A, diejenige des Zuges B mit t_B bezeichnet. Sie streuen in der gleichen Grössenordnung, was eine Gleichsetzung der statistischen Mittelwerte von t_A und t_B erlaubt. Damit ergeben sich für die Züge folgende Dichtefunktionen der Verspätungen:

$$h_A = \frac{e^{-(t_A/m)}}{m} \quad \text{für den Zug A}$$

$$h_B = \frac{e^{-(t_B/m)}}{m} \quad \text{für den Zug B}$$

Die mathematische Herleitung der Wahrscheinlichkeit P_a einer Behinderung des Zuge A kann aus der geometrischen Interpretation der Figur 3 erläutert werden. Sofern der Zug A keine Verspätung aufweist (d.h. $t_A = 0$), entspricht die Behinderungswahrscheinlichkeit der Fläche zwischen τ_b und τ_c. Die Häufigkeit dieser Voraussetzung beträgt im Gegensatz zum vorhergehenden Kapitel nicht mehr 1, sondern nur noch $h_A(t_A = 0) \cdot dt_A$. Somit muss die Fläche bzw. das Integral (2) mit diesem Wert multipliziert werden. Weist der Zug A eine Verspätung $t_A \neq 0$ auf, verschiebt sich aufgrund der Eigenschaften des Eisenbahnsystems die Integralfläche um die Distanz t_A, was im mathematischen Sinne dem Integral zwischen $\tau_b + \tau_A$ und $\tau_c + \tau_A$ entspricht (vgl. Bild 7). Die Integration ergibt folgende Beziehung:

$$P_a = \int_0^\infty h_A(t_A) \left\{ \int_{\tau_b + t_A}^{\tau_c + t_A} h_B(t_B)\, dt_B \right\} dt_A = \frac{e^{-(\tau_b/m)} - e^{-(\tau_c/m)}}{2} \qquad (4)$$

Ein Vergleich der Beziehung (4) mit (2) zeigt, dass sich die Wahrscheinlichkeit P_a einer Behinderung des Zuges A halbiert, sobald beide Züge nach einer Exponentialverteilung mit gleichem Mittelwert verspätet sind.

Falls die mittlere Verspätung m nicht bekannt ist, kann die bereits erläuterte Abschätzung mittels Hüllkurven analog angewendet werden. Die Beziehung (3) für die mittlere Verspätung m* mit der grössten Behinderungswahrscheinlichkeit bleibt gleich.

Anwendungsbeispiel

Als Zusammenfassung wird ein konkretes Beispiel diskutiert. Für das Investitionsprogramm «Bahn 2000» müssen die Gleisanlagen beim Bahnhof Aarburg-Oftringen gemäss Bild 8 mit einer doppelspurigen Gleisschleife für Intercity-Züge Bern – Luzern erweitert werden. Es stellt sich die Frage, ob diese Schleife kreuzungsfrei mit den übrigen Gleisanlagen verflochten werden muss.

Als erster Arbeitsschritt werden die massgebenden Konstellationen ermittelt. Simulationsstudien haben gezeigt, dass bei fahrplanmässigem Lauf der Züge keine Behinderungen auftreten. Falls der Intercity Luzern – Basel 80 Sekunden Verspätung (oder mehr) aufweist, würde bei fehlender Gleisüberwerfung ein unverspäteter Intercity Bern – Luzern gemäss Bild 8 behindert. Infolge Taktfahrplan kann diese Möglichkeit jede Stunde einmal auftreten. Zur Quantifizierung der Behinderungswahrscheinlichkeit wird $\tau_b = 80$ Sekunden gesetzt. Sobald der Intercity Luzern – Basel 200 Sekunden Verspätung (oder mehr) aufweist, kann die Reihenfolge der Züge an der Konfliktstelle vertauscht werden, ohne dass eine Behinderung auftritt, d.h. $\tau_c = 200$ Sekunden.

Nachdem keine Angaben über die mittlere Verspätung der Züge für den Zeitraum nach Realisierung von «Bahn 2000» vorliegen, wird eine Abschätzung mittels Hüllkurve vorgenommen. Gemäss Beziehung (3) beträgt der Verspätungsmittelwert m* mit dem ungünstigsten Wahrscheinlichkeitswert 131 Sekunden. Es darf angenommen werden, dass sowohl der Intercity Luzern–Basel als auch der Intercity Bern–Luzern eine ähnliche Häufigkeitsverteilung für Verspätungen aufweisen. Deshalb wird die Behinderungswahrscheinlichkeit nach der Beziehung (4) berechnet, woraus 0,16 resultiert.

Die Gleisschleife wird nur von den Intercityzügen Bern–Luzern benutzt. Bei der errechneten Wahrscheinlichkeit tritt ungefähr alle 6 Stunden eine Zugbehinderung auf, die durch den Bau einer Gleisüberwerfung vermieden würde. Es ist eine Ermessensfrage, ob diese kleine Wahrscheinlichkeit toleriert werden kann. Bei knappen Investitionsmitteln kann im vorliegenden Fall der Verzicht auf Gleisüberwerfungen vertreten werden.

Adresse der Verfasser: Dr. *Peter Giger* und *Markus Montigel*, dipl. Ing. ETH, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau IVT, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Abwärmenutzung

Musterbeispiel in einem industriellen Prozess

Industrielle Prozesse gelten als «hartes Pflaster» für Belange des Energiesparens. Realisierte Projekte zeigen aber ein erhebliches Sparpotential, wie das Beispiel des Lackierwerkes Hedingen einer Metallbaufirma im Kanton Zürich zeigt. Rund 20% an Prozess- und Raumwärme werden in diesem Pilot- und Demonstrationsprojekt eingespart. Zudem kann auf den Einsatz von Schwermetallen und Lösungsmitteln weitgehend verzichtet werden.

VON OTHMAR HUMM, ZÜRICH

Nur gerade 5% der gesamten Kosten einer Metallfassade entfallen auf die Lackiererei, und lediglich 1% beträgt der Anteil des Lackes. Die Kosten sind es also nicht, die eine Industriefirma zur Sanierung der Lackieranlage treibt, wohl aber Anliegen des Umweltschutzes. Denn beim konventionellen Lackieren werden *Schwermetalle, Lösungsmittel* und grosse Mengen an *Energie* umgesetzt. Durch den Einsatz von Ersatzstoffen – lösungsmittelfreie Wasserlacken und schwermetallfreie Pulverlacken – sowie durch die energiegerechte Konzeption und den konsequenten Betrieb der Anlage sind wesentliche Verbesserungen in den drei Problembereichen möglich.