Die Häufigkeit verschiedener Reiselängen im Bahnverkehr

Als Zentralstelle für alle Anfragen und Mitteilungen dient das Generalsekretariat der G. E. P., Dianastr. 5, Zürich.

Alle Beiträge bitten wir unter der Bezeichnung: „Jubiläumsfonds E. T. H." an die Schweiz. Kreditanstalt in Zürich zu überweisen, die als Sammelstelle dient und ein besonderes Konto dafür eröffnen wird; kleinere Beträge können, unter gleicher Bezeichnung, auch auf Postscheck VIII 5002 eingezahlt werden. Mit Rücksicht auf den Tag der Jubiläumsfeier (7. November 1930) ist Ueberweisung vor Ende Oktober dringend erwünscht.

Die Häufigkeit verschiedener Reiselängen im Bahnverkehr.

Von Prof. Dr. W. KUMMER, Ingenieur, Zürich.

Bei der Abschätzung der Einnahmen projektierter Bahnen wird berücksichtigt, dass in einem einheitlichen Gebiete der Verkehr von einer Hauptstation aus mit wachsender Reiselänge rasch abnimmt. Für diese Abschätzung empfiehlt das von F. Foerster (Dresden) herausgegebene „Taschenbuch für Bauingenieure" den Gebrauch einer 1881 empirisch entstandenen Kurve von *E. Sonne,* die die relative Verkehrsgrösse, die im einen Fall die Anzahl beförderter Personen, im andern Fall die Anzahl beförderter Gütertonnen ausdrücken kann, über der Reiselänge darstellt; wie wir noch zeigen werden, kann diese Kurve, die für 1 km Reiselänge den Relativverkehr 1, für 10 km Reiselänge den Relativverkehr 0 aufweist, ziemlich genau durch einen, von uns in der Folge a priori entwickelten Exponentialausdruck für die Häufigkeit verschiedener Reiselängen im Bahnverkehr analytisch wiedergegeben werden. In andern Büchern wird für den Zusammenhang des Verkehrs mit der Reiselänge eine von *E. Lill* 1891 mittels der Wahrscheinlichkeitsrechnung gefundene Formel:

$$y\,x = M$$

mitgeteilt, wobei y die Anzahl beförderter Personen, x den Reiseweg in km, und M eine Konstante bedeuten „(Lill-sches Reisegesetz)". In seinen umfangreichen, 1913 veröffentlichten Untersuchungen hat G. Schimpff[1]) versucht, mittels dieser Formel den Verkehr der Berliner Stadtbahnen und Vorortbahnen darzustellen. Aus seinen Darstellungen wiederholen wir in Abbildung 1 das von der Lill'schen Hyperbel:

$$x\,y = M = 121\,898$$

begleitete Treppenbild der Personenzahl y über dem von der Station „Warschauer Brücke" der Berliner Hoch- und Untergrundbahn bis zu dem 13,1 km entfernten „Reichskanzlerplatz" sich über 15 Stationen erstreckenden Reiseweg x. Man erkennt aus dieser Abbildung, was übrigens auch von allen möglichen Anwendungen der Lill'schen Formel zu sagen ist, dass sie keine befriedigende Darstellung der tatsächlichen Verhältnisse zu geben vermag; offenbar muss sie auf nicht einwandfreier Grundlage beruhen.

Wir stellten uns deshalb die Aufgabe der Herleitung einer auf richtiger Grundlage fussenden und die Erfahrungszahlen befriedigend darstellenden Formel zur Ermittlung der Häufigkeit verschiedener Reiselängen im Bahnverkehr.

Dass diese Aufgabe mit Hülfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu lösen ist, stand von vornherein fest; ein besonderes Problem bot aber die Wahl eines geeigneten, der Erfahrung zugänglichen Ausgangspunktes. Einen solchen erblicken wir im Begriff der „Platzbesetzung" der Verkehrsmittel. Im *Personenverkehr* definieren wir die als echten Bruch gegebene Grösse:

$$b = \frac{\text{Personenkilometer}}{\text{Platzzahlkilometer}}$$

als Masstab der Platzbesetzung. Da die Verkehrsanstalten ohne weiteres bestrebt sind, b so nahe wie möglich gleich 1 zu machen, ohne dies aber dauernd zu erreichen, liegen die Variationen von b innerhalb der in Massenerscheinungen vorkommenden; d. h. eine durchgängige Regelmässigkeit im Auftreten der Werte b kann ohne weiteres vorausgesetzt werden. Demnach kann dann aber b auch die Wahrscheinlichkeit dafür bedeuten, dass ein Reisender im Verkehrsmittel den Weg von der Länge 1 zurücklegt; für die Weglänge 2 ist diese Wahrscheinlichkeit $b\,b = b^2$, für die Weglänge x ist sie:

$$w_x = b\,b\ \ldots\ b = b^x.$$

Diese Funktion w_x ist nun die gesuchte Funktion zum Ausdruck der Häufigkeit verschiedener Reiselängen. Für die Annahme:

$$b = 0{,}6$$

die in sehr vielen Fällen praktisch als zutreffend festzustellen ist, bilden wir in Abbildung 2 die Funktion w_x ab, deren Verlauf, mit $w_x = 1$ bei $x = 0$ beginnend, eine konvex gegen die x-Axe rasch fallende Kurve ergibt. In der Abbildung 2 stellen wir mit geändertem Ordinatenmasstab auch noch eine Kurve R dar, die mit der von Sonne angegebenen Relativkurve identisch ist. Man erkennt, dass diese Relativkurve im Intervall $x = 1$ bis $x = 10$ durch eine Gleichung:

$$R = R_0\,w_x = R_0\,b^x$$

näherungsweise bei den Ansätzen:

$$R = 1{,}67\ ;\qquad b = 0{,}6$$

darstellbar ist, gemäss den geringfügigen Abweichungen der beiden in Abbildung 2 gezeichneten Kurven.

Wenn es sich nun darum handelt, statistisch gegebene Betriebsdaten über den Reiseverkehr verschiedener Reiselängen, wie beispielsweise jene nach dem Treppenbild der Abbildung 1, durch unsere Funktion:

$$w_x = b^x$$

darzustellen, dann ist zu beachten, dass nach Massgabe einer Konstanten C, die der Verkehrsbedeutung des behandelten Verkehrsbeispiels entspricht, die Zahl y der Reisenden durch:

$$y = C\,w_x = C\,b^x$$

gegeben erscheint, wobei dann C und b aus den statistisch gegebenen Daten, also aus einem Treppenbild, wie in Abbildung 1, zu ermitteln sind. Zu dieser Ermittlung stehen verschiedene Wege zur Verfügung. Es entsprechen sich Treppenabsätze $\varDelta y$ und Stationsentfernungen $\varDelta x$. Nach der Differenzenrechnung hat die Funktion:

$$y = C\,b^x$$

einen Differenzenquotient:

$$\frac{\varDelta y}{\varDelta x} = C \lg b\; b^x = y \lg b.$$

Nun folgt, da einem $+\varDelta y$ ein $-\varDelta x$ entspricht:

$$\lg b = -\frac{\varDelta y}{y}\,\frac{1}{\varDelta x}$$

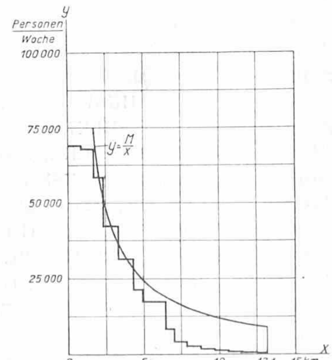

Abb. 1. Beispiel Berliner Stadtbahn mit Lill'scher Hyperbel, n. Schimpff.

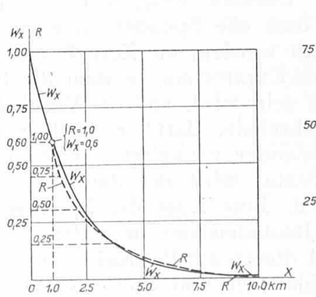

Abb. 2. Häufigkeitskurve w_x (Kummer) und Relativitätskurve R (Sonne).

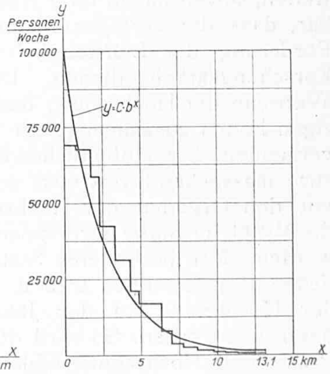

Abb. 3. Wie Abb. 1, aber mit Häufigkeitskurve nach Kummer.

[1]) Wirtschaftliche Betrachtungen über Stadt- und Vorortbahnen, bei Jul. Springer, Berlin 1913.

womit b bestimmbar ist. Aus gegebenen Reiselängen x_i oder x_p mit gegebenen Ordinaten y_i oder y_p folgt dann mit:

$$y_i = C\, b^{x_i}$$

oder mit

$$y_p = C\, b^{x_p}$$

sofort auch die Konstante C.

Statt der Differenzenrechnung lässt sich auch die Flächenrechnung benutzen. Bezeichnet man die zwischen den Ordinaten y_i und y_p, wobei $y_i > y_p$ sei, über dem Abszissenabschnitt $x_p - x_i$ liegende Fläche, die zwischen der Treppe und der x-Axe liegt, mit $F_{i,p}$, so gilt:

$$F_{i,p} = \int_{x_i}^{x_p} y\, dx = C \int_{x_i}^{x_p} b^x\, dx = \frac{-C}{\lg b}\left(b^{x_i} - b^{x_p}\right) = -\frac{y_i - y_p}{\lg b}$$

woraus dann:

$$\lg b = -\frac{y_i - y_p}{F_{i,p}}$$

folgt. Dann ist auch wieder C, wie oben dargestellt, sofort bestimmbar. Nach diesen zwei Verfahren haben wir für das Treppenbild in Abbildung 1 übereinstimmend:

$$b = \sim 0{,}68 \quad ; \quad C = \sim 100\,000$$

ermittelt und damit die Abbildung 3 gezeichnet. Ein Vergleich der Abbildungen 1 und 3 lässt erkennen, dass unsere Funktion

$$y = C\, b^x$$

dem Charakter des Treppenbildes, also der Wirklichkeit, in weitaus höherem Masse gerecht wird, als die Lill'sche Funktion:

$$y = \frac{M}{x}.$$

Für den Verkehr auf Hauptbahnen kann die Häufigkeit verschiedener Reiselängen gut beurteilt werden aus den statistischen Zusammenstellungen über den Fahrkartenverkauf, geordnet nach Entfernungen von 1 bis 5 km, von 6 bis 10 km, von 11 bis 15 km usw. Derartige Zusammenstellungen sind, so weit uns bekannt, erstmals von *O. Hille*, über Erhebungen bei den Preussischen Staatsbahnen, mitgeteilt worden. Aus seinen Veröffentlichungen benutzen wir beispielsweise jene über den Personenverkehr der Monate Mai und Juli des Jahres 1893[1]), im Hinblick auf die Zusammenstellungen über den Verkauf von einfachen Fahrkarten und Rückfahrkarten zusammen. Die vier ersten Zeilen dieser Zusammenstellungen, mit den Daten:

Auf eine Entfernung	Fahrtenzahl
1 bis 5 km	4 753 061
6 bis 10 „	8 792 599
11 bis 15 „	5 556 973
16 bis 20 „	3 711 817

scheinen zwar unserer Häufigkeitsfunktion ganz und gar nicht zu entsprechen. Es genügt jedoch, an Stelle der Entfernungsdifferenz von 4 bis 5 km eine solche von 9 bis 10 km, oder, noch besser, eine solche von 19 bis 20 km zu wählen, um eine gute Uebereinstimmung der statistischen Daten mit unserer Häufigkeitsfunktion zu erhalten, wie den Abbildungen 4 und 5 entnommen werden kann. Für die Häufigkeitskurven dieser zwei Abbildungen gilt übereinstimmend:

$$b = 0{,}6$$

während C für Abbildung 4 den Wert 21,82 Millionen Personen, für Abbildung 5 den Wert 65,00 Millionen Personen, je für die zwei Monate Mai und Juli 1893, hat.

Die Erklärung für die bei gewissen, nämlich bei zu kleinen Entfernungsdifferenzen auftretenden praktischen Abweichungen von der theoretisch begründeten Häufigkeitsregel liegt im Einfluss örtlicher Uneinheitlichkeit des Verkehrsgebiets, insbesondere in der Rolle mehrerer, nahe beisammen liegender, je einen starken Vorortverkehr bedienender Hauptstationen. Diese Erscheinung ist durchaus nicht ungewöhnlich. Auch in den Verkehrsangaben der von den S. B. B. alljährlich herausgegebenen „Statistischen Tabellen" ist sie etwa feststellbar.

Wir verzichten auf die Wiedergabe weiterer Berechnungsbeispiele, aus denen wir die durchaus befriedigende Uebereinstimmung der von uns abgeleiteten Häufigkeitsregel für das Auftreten verschiedener Reiselängen im Bahnverkehr entnehmen konnten. Wir dürfen durchaus den Standpunkt einnehmen, dass unsere Regel viel zuverlässiger ist als jene von Lill, ferner dass sie, dank ihrer analytischen Einfachheit und dank der Möglichkeit ihrer Herleitung a priori, auch der auf guten empirischen Grundlagen beruhenden Kurve von Sonne überlegen ist.

[1]) Archiv für Eisenbahnwesen, 1894, Seite 85.

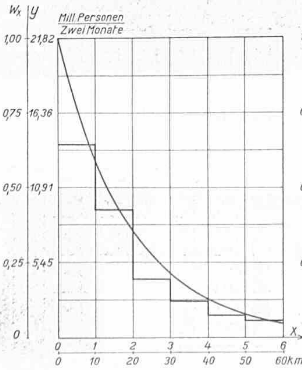

Abb. 4. Beispiel eines Verkehrs mit 10 km Entfernungs-Differenz.

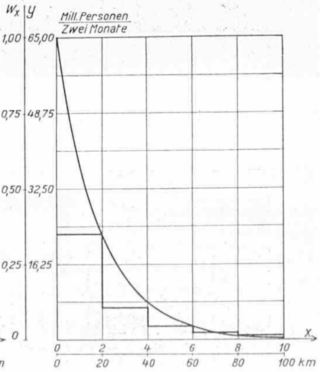

Abb. 5. Desgl. mit 20 km Diff., mit Daten wie in Abb. 4.

Die Ueberwachung des Betonbaues.

Von Baurat VOGELER, Berlin.[1])

Die seit etwa 1922 ergangenen Anregungen der Fachwelt, die Güte des Betonbaues zu steigern, haben bei der deutschen Reichsbahn starken Widerhall gefunden. Diese begann vor drei Jahren in ihrem Bereiche die Ueberwachung des Betonbanes zu organisieren. Die Grundlage dazu wurde die „Anweisung für Mörtel und Beton" (AMB) vom September 1928, die ein Lehrheft über alle grundlegenden Fragen des Betonbaues darstellt[2]). Sie behandelt in knapper Form die „Bestandteile des Mörtels und Beton", deren Zusammensetzung zu „Mörtel und Beton" und die Baustellenprüfungen für die Durchführung einer zeitgemässen „Bauüberwachung".

Die Anweisung wurde auch in der Oeffentlichkeit gut aufgenommen. Sie wird sogar ausserhalb der Reichsbahn von zahlreichen deutschen Behörden, Verbänden und Privaten, sowie auch im Ausland verwendet. Um nichts zu versäumen, was einer guten Betonherstellung dienen kann, wurden noch Auszüge aus der AMB gefertigt und zwar zunächst eine Anhangtafel, das „Merkblatt für Betonbauten", zwei Blätter von je 42×60 cm Grösse[2]). Das Merkblatt bringt in stark gegliedertem Druck und in äusserster Wortkürze Hinweise zu den wichtigsten Gesichtspunkten des Betonbaues: zum Baugrund, zu den Baustoffen, zu Gerüsten, Schalung und Eiseneinlagen, zu Mörtel, Beton und Bauwerkschutz. Das Merkblatt ist ferner noch in Taschenbuchform gedruckt und mit einem Anhang versehen, der in ebenfalls kürzester Form die Baustellenversuche schildert. Das Ganze ist als „Beton-Merkbuch" bezeichnet[2]). Der Anhang enthält die Verfahren für die Untersuchung von Boden, Wasser, Bindemittel, Zuschlagstoff, Eisen, Betonbereitung und Betongüte.

Zur Organisation der Bauüberwachung gehört weiterhin die *Ausrüstung der Baustellen mit Prüfgerät.* Hierzu wird das notwendige Gerät in Gruppen für bestimmte Prüfungen zusammengefasst und in Kästen verpackt. Die Ausrüstung A (Abb. 1, S. 106) umfasst die Geräte für die Untersuchungen an den Bindemitteln, Zuschlagstoffen und am frischen Betongemenge. Die Ausrüstungen B und C (Abb. 2) umfassen die Geräte für den Würfel- und Balken-

[1]) Kurze Angabe des wesentlichsten Inhaltes eines Vortrages bei den Sektionen Basel und Waldstätte des S. I. A. am 8. u. 9. Januar 1930.

[2]) Erschienen im Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.