

Die Eigenart der Eisenbahnen und der Straßen in Betrieb und Linienführung

Von W. Müller, Techn. Hochschule Aachen

Der Bau sowie die sichere, leistungsfähige und wirtschaftliche Gestaltung des Betriebes der Eisenbahnen und der Straßen gehört seit jeher zu den Aufgaben der Bauingenieure. Sie für den Wege- und Wasserbau zu erziehen, bezeichnet bereits ein Erlaß des Königs von Preußen vom 28. 2. 1801 als die vornehmste Aufgabe der Berliner Bauakademie, und die Grundsätze der Akademie lassen keinen Zweifel darüber, daß die Bedürfnisse des kameralistischen Bauwesens im Vordergrund stehen. Nach ihrem Studium traten die Wege- und Wasserbauer in den Dienst der Kriegs- und Domänenkammern der Provinzen ein, das sind die heutigen den Regierungspräsidenten unterstellten Behörden. Sie waren also technische Kameralisten, denen in den Regierungsbezirken der Ausbau und die Unterhaltung des Land- und Wasserstraßennetzes oblag. Auch die Eisenbahner sind technische Kameralisten, deren Bauten ebenso wie die Land- und Wasserstraßen auf viele Kilometer das Land durchziehen und deren Planungen in Anpassung an die Gelände-, Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur der Landschaften ein Denken in weiten Räumen voraussetzen.

Da der Staat die Eisenbahnen nicht nur baut, sondern auch den Betrieb auf ihnen führt, so wurde auf den Technischen Hochschulen später außer dem Eisenbahnbau auch der Eisenbahnbetrieb gelehrt, damit die Bauingenieure aus den Betriebs- erfahrungen heraus die Eisenbahnanlagen für einen sicheren, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Betrieb angepaßt an die Gelände-, Siedlungs- und Wirtschafts- struktur entwerfen können. Der Eisenbahnbetrieb ist ein Handwerk, das nicht aus Büchern gelernt, sondern in der Praxis erlebt werden muß. Durchdringt man dann dieses Erlebnis, insbesondere durch die Fahrdynamik (W. Müller: „Fahrdynamik der Verkehrsmittel“ 1940, Springer-Verlag, Berlin) mathematisch- physikalisch, dann wird dadurch die Lehre vom Bau und Betrieb der Verkehrs- wege wissenschaftlich ausgerichtet. Weiterhin wurde nach dem 1934 erschienenen Buch „Verkehrswirtschaft“ von C. Pirath auch dieses Gebiet in den Lehrplan der Bauingenieure aufgenommen, so daß nunmehr Bau, Betrieb und Verkehr als systematische Einheit gelehrt wird. Die Verkehrswirtschaft schlägt hierbei die Brücke von den Bauingenieurwissenschaften zur Volkswirtschaft, während die Fahrdynamik die Brücke zu der Konstruktion der mit dem Boden ver- bundenen Verkehrsanlagen und der Fahrzeuge bildet.

Die Fahrdynamik bringt u. a. die aufwandstechnische Vorausberechnung der Zugförderkosten der Bundesbahn nach dem Kostenmaßstabsverfahren des Ver- fassers. Auch die Kraftwagenfahrten können entsprechend aufwandstechnisch erfaßt werden. Derartige Ermittlungen haben grundlegende Bedeutung für die Verkehrswirtschaft.

Nachstehend soll nun auf die Eigenart der Verkehrsmittel auf Schiene und Straße und auf die daraus sich ergebende Gestaltung von Bau und Betrieb eingegangen und das mathematische Rüstzeug aufgezeigt werden, das notwendig ist, Eisenbahn

und Straßen zu gestalten und den Betrieb auf ihnen zu führen. Insbesondere sei hier auf einen sicheren und leistungsfähigen Betrieb und auf eine wirtschaftliche Linienführung eingegangen.

I. Sicherheit und Leistungsfähigkeit

Der technische Apparat zur Beförderung von Reisenden und Gütern auf Schiene und Straße setzt sich aus den Fahrzeugen und aus Anlagen zusammen, die mit dem Boden verbunden sind. Zu letzteren gehören die Fahrbahn und die Stellen zum Aufnehmen und Abnehmen der Reisenden und der Güter. Bei Fahrzeugen unterscheidet man die Triebfahrzeuge und diejenigen Fahrzeuge, die die Reisenden und die Frachten aufnehmen. Bei Kraftfahrzeugen ist meist das Triebfahrzeug gleichzeitig Fahrzeug für die Nutzlasten. Der Betrieb auf der Schiene unterscheidet sich von dem auf der Straße insbesondere dadurch, daß die Fahrzeuge auf Stahlschienen durch die Spurkränze der Stahlräder zwangsläufig geführt werden, während die Kraftwagen auf Gummirädern frei über die Straßen rollen, deren Oberfläche eine Beton- bzw. Asphaltdecke hat oder gepflastert ist. Dem Rollen der Räder setzt die Straßenoberfläche einen mehrfach größeren Widerstand als die glatten Stahlschienen entgegen. Gleichzeitig aber bieten die Schienen den Triebrädern einen sehr hohen Haftwiderstand gegen das Schleudern der Räder. Dadurch wird die Zugkraft der Lokomotive weitgehend für das Rollen ausgenutzt, und sie ist imstande, eine Last zu ziehen, die das Lokomotivgewicht um ein Vielfaches übertrifft und bei zwangsläufiger Führung der Fahrzeuge die Bildung langer und schwerer Züge ermöglicht. Die Tatsache, daß die glatten Schienen den Triebrädern einen so großen Haftwiderstand bieten, hat für den ersten Augenblick etwas Geheimnisvolles. Der hohe Haftwiderstand beruht auf einer Oxydationserscheinung des Stahls, die jedoch nicht mit dem Rosten zu verwechseln ist. Durch diese Oxydationserscheinung bildet sich in den Berührungsf lächen zwischen Schiene und Rad ein Haftwiderstand, der es ermöglicht, daß die Vorwärtsbewegung auf dieselbe Weise erfolgt wie die eines Zahnrades auf einer Zahnstange. Der Sauerstoff der Luft hat also aus den glatten Schienen und Triebrädern Zahnstangen und Zahnräder von unendlich feiner Zahnung großer Härte gemacht. Der bedeutend höhere Rollwiderstand aller gummibereiften Fahrzeuge sowie das Fehlen der zwangsläufigen Führung sind mit der Grund, weshalb man an einem Lastkraftwagen nur einen Wagen anhängen darf. Bei der in Deutschland zugelassenen Höchstzahl von 75 Wagen eines Güterzuges braucht man für den Güterzug nur zwei Mann auf der Lokomotive und einen Zugführer, während jeder Lastkraftwagen mit einem Mann und einem weiteren für jeden Anhänger zu besetzen ist. Der Personalbedarf ist also bei der eigentlichen Zugbeförderung bis zu 25 mal kleiner als beim Lastkraftwagenbetrieb. Nun müssen aber die Güterzüge auf den Rangierbahnhöfen und die Reisezüge auf den Abstellbahnhöfen gebildet, die Güterwagen auf den Unterwegsbahnhöfen gesammelt und auf diese verteilt sowie in die Nahgüterzüge ein- bzw. aus diesen ausrangiert werden. Ferner müssen in den Ortsgüterbahnhöfen und in den Gleisanschlüssen die Wagen be- und entladen werden. Kommen aber die Frachten nicht in Gleisanschlüssen auf, so müssen sie mit Straßenfahrzeugen zum und vom Ortsgüterbahnhof gefahren und dort umgeladen werden. Der personelle Aufwand für alle diese Arbeiten ist auf die Fahrleistung in tkm bezogen erheblich größer als bei dem eigentlichen Transportvorgang. Das Verhältnis wird günstig, wenn möglichst schwere Lasten auf den Schienen auf weite Strecken befördert werden. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß die Ladefähigkeit der Eisenbahnfahrzeuge wegen der größeren Festigkeit der Stahlschiene erheblich größer ist als die der Straßen-

fahrzeuge, so daß bei der gleichen Wagenzahl und für dieselben Transportweiten die tonnenkilometrische Leistungsfähigkeit der Eisenbahn meist überwiegt.

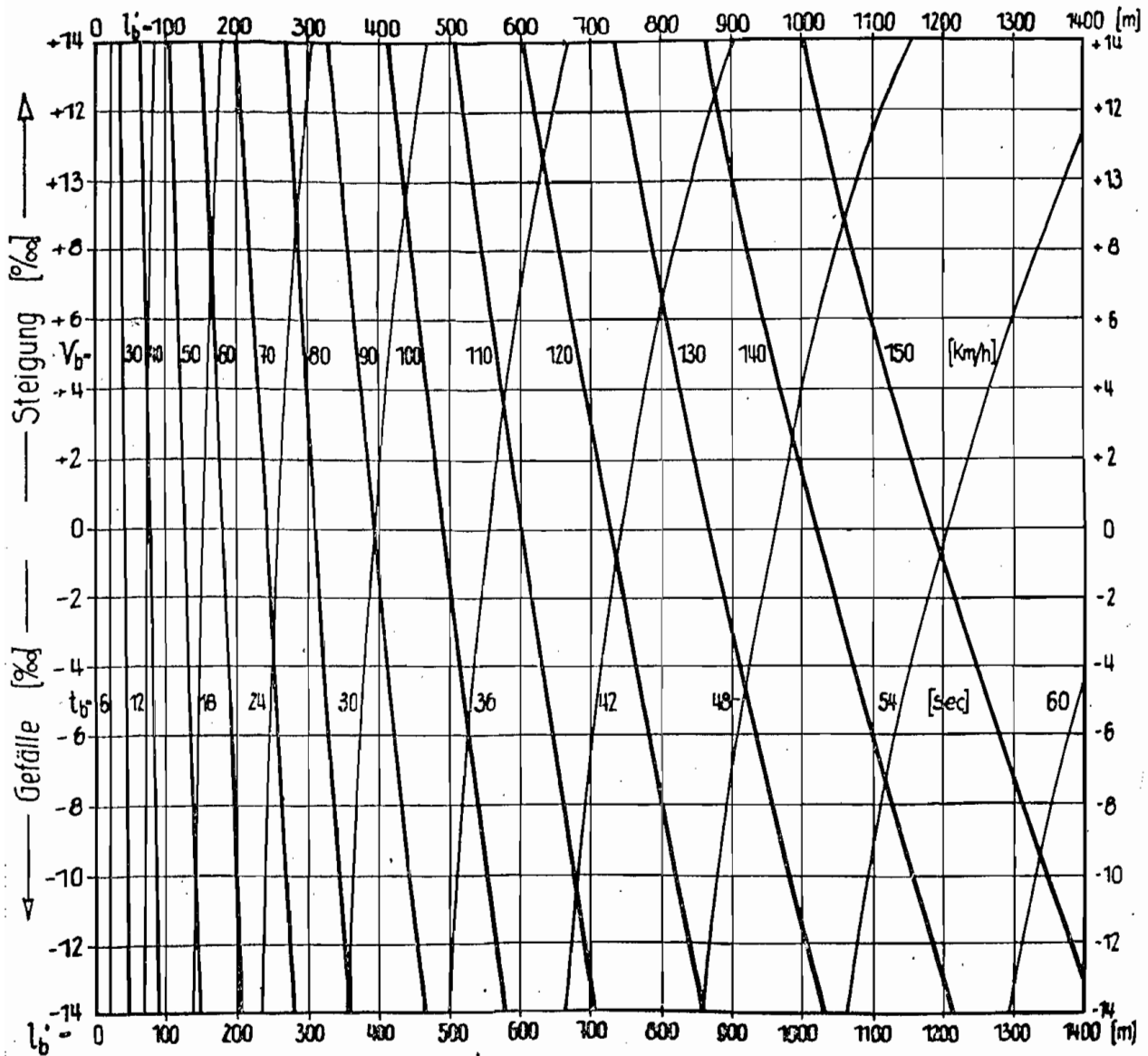
Ebenso überwiegt an der Zahl der Unfälle gemessen die Sicherheit des Schienenverkehrs gegenüber dem Straßenverkehr. Jedoch ist auch der Aufwand zur Erreichung der hohen Sicherheit der Eisenbahn entsprechend größer. Dies hat seinen Grund in der bereits aufgezeigten Eigenart der beiden Verkehrsmittel in Bezug auf die zwangsläufige Führung. Sicherheit muß in der Fahrriechtung sowie quer zu dieser insbesondere in den Kurven vorhanden sein. In den Kurven, in denen in Abhängigkeit von dem Bogenhalbmesser und der Fahrgeschwindigkeit die Zentrifugalkräfte auftreten, ist die Sicherheit gegen das Herausschleudern der Fahrzeuge aus der Fahrbahn bei den Schienenfahrzeugen durch die Spurkränze und die Ueberhöhung der äußeren Schiene bedeutend größer als bei den frei beweglichen Straßenfahrzeugen. Hier tritt durch die Ueberhöhung des Straßenquerschnittes auch eine nach innen wirkende Seitenkraft des Fahrzeuggewichts auf. Diese Seitenkraft und die Haftreibung zwischen Rädern und Straßendecke wirken quer zur Fahrriechtung der Zentrifugalkraft entgegen. Durch die Witterung und den Fahrbahnzustand ist aber die Haftreibung unbeständig. Auch die plötzlich auftretenden Bremskräfte in den Kurven, die bei Kraftwagen größer als bei Eisenbahnwagen ist, vermehren die Unsicherheit gegen Herausschleudern.

Aber auch die Sicherheit in der Fahrriechtung gegen Zusammenstoß ist bei den zwangsläufig geführten Zügen größer als bei frei beweglichen Kraftwagen, trotz deren Möglichkeit, an jeder beliebigen Stelle auszuweichen. Bei Kraftfahrzeugen ist die Sichtweite größer als der Bremsweg. Hier wird daher auf Sicht gefahren. Beim Zugverkehr ist vielfach die Sichtweite kleiner als der Bremsweg, und wegen der zwangsläufigen Führung kann nicht an jeder beliebigen Stelle ausgewichen werden. Es müssen daher besondere Ueberholungsgleise angelegt werden, damit die schnelleren Züge nicht von den langsameren aufgehalten werden. Die Ueberholungsgleise sind durch Weichen an die Hauptgleise angeschlossen, die von Weichenstellern bedient werden müssen.

Weil die Züge nicht auf Sicht fahren, so folgen sie nach dem Grundsatz der Raumfolge. Zu diesem Zweck ist die Strecke in Blockabschnitte eingeteilt, die von Signalen begrenzt sind. In einem solchen Blockabschnitt darf nur ein Zug einfahren, wenn der vorherige Zug diesen Abschnitt verlassen hat. Zur Erhöhung der Sicherheit sind die Signale mit elektrischen Blockeinrichtungen verbunden. Letztere gestatten erst, ein Signal zur Einfahrt in einen Blockabschnitt zu ziehen, wenn der vorhergehende Zug tatsächlich aus der Blockstrecke herausgefahren ist. Das Ueberfahren eines auf Halt stehenden Signals wird durch eine auf Induktionswirkung beruhende Zugbeeinflussung unmöglich gemacht. Die Signal- und Blockeinrichtungen werden ebenfalls von Weichenstellern bedient. Bei der bisherigen Signaltechnik sind die Blockabschnitte, in denen sich nur ein Zug befinden darf, meist die Bahnhofsabstände, wenn sie nicht durch ein oder zwei Blockstellen unterteilt sind. Bei der neuen DR-Signaltechnik und beim Selbstblock können die Blockabschnitte kleiner und zahlreicher werden, da deren Längen nach dem größten Bremsweg nebst einer Sicherheitsstrecke bemessen werden. Ferner werden hier die Blockeinrichtungen einer Strecke von einer Stelle aus bedient, und statt der vielen Stellwerke eines großen Bahnhofs genügt nur eins. Die neue DR-Signaltechnik bewirkt also eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit und erspart gleichzeitig Personal, bei erhöhter Sicherheit, aber es wird, wie gesagt, bei der Eisenbahn die höhere Sicherheit mit einem größeren personellen und materiellen Aufwand als bei den Straßen erkauft (DR bedeutet Drucktaste).

Abb. 1a

Netztafel für die Bremswege l_b und die Bremszeiten t_b der Schnellzüge.

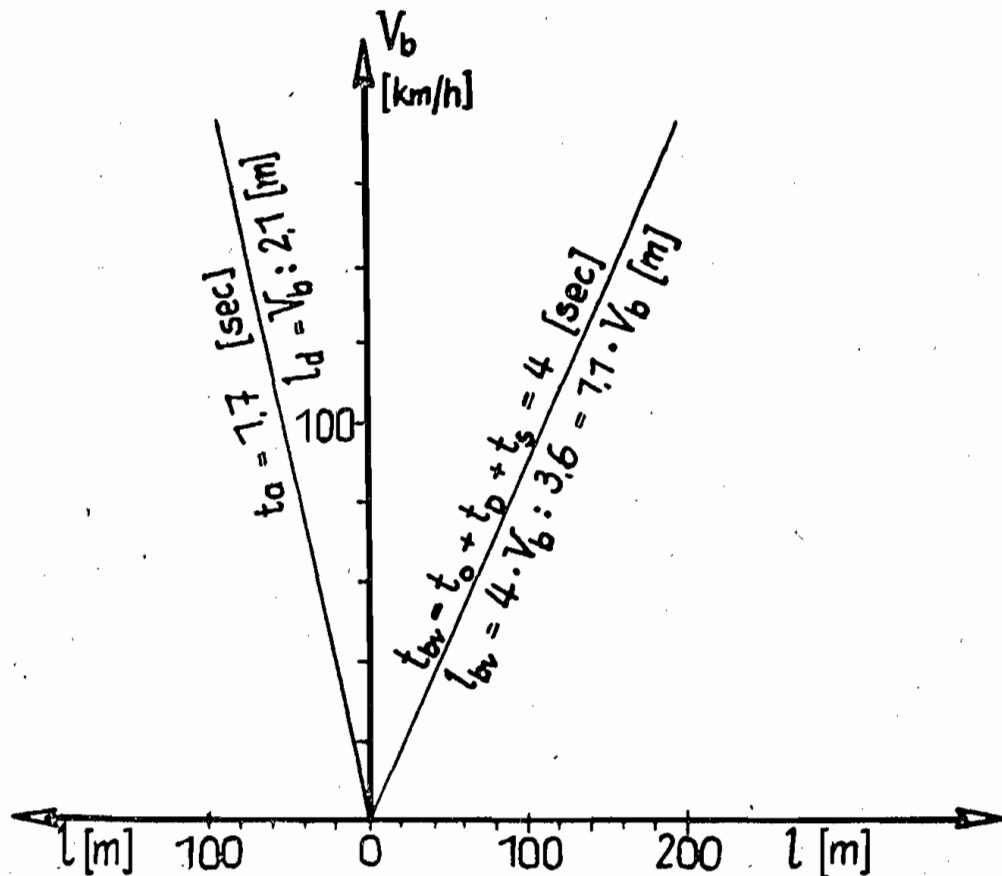


$$\text{Bremsweg: } l_b - l_b' + \frac{13 \cdot V_b}{25} = l_b + \frac{V_b}{21} \text{ [m]}$$

$$\text{Bremszeit: } t_b - t_b' + 17 \text{ [sec]}$$

Die physikalische Grundlage für die Bemessung der Blockabstände nach der DR-Technik ist der Bremsweg eines Schnellzuges. Diesen kann man in Abb. 1 für die verschiedenen Abbremsgeschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenneigungen (Steigung bzw. Gefälle) ablesen (vgl. W. Müller: „Eisenbahnanlagen und Fahrdynamik“ 1953, Springer-Verlag, Berlin). Für die Abstände, in denen die Lastkraftwagen einander folgen, kann man für eine größere Anzahl beobachteter Abbremsgeschwindigkeiten und ihre Bremswege eine Gleichung nach der Korrelationsrechnung aufstellen, wie dies für Lastkraftwagen schon mehrmals geschehen ist (A. Linder: „Statistische Methoden“, Verlag Birkhäuser, Basel 1951, S. 28).

Abb. 1b



Verlustzeit und Verlustweg vor der Bremswirkung

Zur Berechnung der Leistungsfähigkeit einer Eisenbahnlinie wurde vom Verfasser im vorgenannten Werk, Bd. 2, ein Verfahren entwickelt, aus den Fahrzeiten für das Befahren einer Blockstrecke und aus den Zeiten für das Bilden und Auflösen der Fahrstraßen sowie unter Berücksichtigung der Ueberholungen und Kreuzungen einschließlich der Betriebsstörungen, die sogenannten Sperrzeiten der einzelnen Züge zu ermitteln, aus denen die maßgebenden Zugfolgezeiten berechnet wurden. Als Leistungsfähigkeit einer Fahrtrichtung einer zweigleisigen Bahn wird die so berechnete mögliche Zahl der Züge in 24 Stunden angegeben. Hiernach wurde z. B. von der Bundesbahndirektion Frankfurt (M) die Leistungsfähigkeit der rechtsrheinischen Strecke von Oberlahnstein nach Wiesbaden Ost bei der derzeitigen Signaltechnik zu 102 Zügen täglich in der Lastrichtung und bei der neuen Signaltechnik zu 131 Zügen täglich berechnet. Auch die Leistungsfähigkeit der Bahnhöfe erhöht sich durch die DR-Signaltechnik bedeutend. So bringt diese nach einer Untersuchung des Hauptbahnhofes Hannover bei den gesamten Sperrzeiten der Zug- und Rangierfahrten einen Zeitgewinn von 25 Prozent.

Da die Straßenfahrzeuge, wie gesagt, auf Sicht fahren, ergibt sich die größtmögliche Leistungsfähigkeit einer Straße aus der notwendigen Sichtstrecke, die zwischen einem vorausfahrenden und einem folgenden Kraftwagen vorhanden sein muß. Sie setzt sich zusammen aus der Strecke, die der Kraftwagen während der Reaktionszeit des Fahrers $t = 0,5 - 0,75$ [sec] mit der Fahrgeschwindigkeit v

[m/sec] zurücklegt, und der Bremsstrecke, die nach dem Energiesatz proportional dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit, also $k \cdot v^2$ ist. Der Faktor k [sec²/m], der von der Bremsverzögerung abhängt, kann nach Beobachtungen zu 0,113 und 0,115 angenommen werden. Die Summe der Sichtstrecke und der Fahrzeuglänge l_f ergibt den Kleinstabstand zweier mit gleicher Geschwindigkeit einander folgender Wagen (vgl. W. Müller, Verkehrstechnik 1926, S. 457). Die Leistungsfähigkeit der Fahrspur einer Straße, ausgedrückt in Kraftwagen je Stunde, C [Fzg/h] ergibt sich aus dem Wege, der bei gleichmäßiger Fahrgeschwindigkeit aller Wagen in einer Stunde zurückgelegt wird, zu $L = 3600 \cdot v$ [m], dividiert durch den kleinsten Abstand der Wagen $l = l_f + t \cdot v + k \cdot v^2$. Damit wird die Leistungsfähigkeit $C = 3600 \cdot v : (l_f + t \cdot v + k \cdot v^2)$ Fahrzeuge je Stunde von der gleichmäßigen Fahrgeschwindigkeit des Verkehrsstromes abhängig. Mit steigender Geschwindigkeit nimmt die Leistungsfähigkeit zunächst zu und dann mit höherer Geschwindigkeit langsam wieder ab. Es besteht also in dieser gewölbten Linie eine Optimalgeschwindigkeit, bei der die größte Leistungsfähigkeit der Straßen gegeben ist. Diese rechnerische optimale Geschwindigkeit ist bei etwa 24 km/h gegeben, und die zugehörige Leistungsfähigkeit ist hierbei 1500—2000 Fahrzeuge/h für eine Spur. Wenn man die vorgenannten Sicherheitsbedingungen nicht verwirklicht, erreicht man bei derselben stündlichen Fahrzeugzahl wohl eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit, aber die erforderliche Sicherheit geht verloren. Folgen auf einer Straßenfahrspur alle Wagen einander im Abstand l [m], so müssen sie auch alle mit gleicher Geschwindigkeit fahren, die sich nach dem langsamsten Fahrzeug richtet. Bei den Verkehrsteilnehmern besteht aber der Wunsch, mit einer selbst gewählten Geschwindigkeit zu fahren. Für den Fahrer eines schnellen Wagens wird daher eine Straße, bei der alle Fahrspuren nach obiger Berechnung belegt sind, als verstopft angesehen. Bei den Straßen können die Ueberholungsstellen im Gegensatz zur Eisenbahn nicht von vornherein festgelegt werden. Infolgedessen muß die Ueberholungsmöglichkeit auf der ganzen Strecke gegeben sein, wenn man in weitgehendem Maße das Ueberholen der Wagen ermöglichen will. Die praktische Leistungsfähigkeit einer Straße, die nicht als verstopft angesehen werden soll, ist daher von vielen Einflüssen der Trassierung und der Gestaltung abhängig. Die hauptsächlichsten Einflüsse sind die Sichtweite für das Ueberholen und für die Bremsstrecke vor einem plötzlich auftretenden Hindernis sowie die Steigungen. Ferner haben das Profil und der Zustand der Straßendecke, die Breite der Fahrspuren, die Hindernisse im seitlichen Spielraum, die Breite und der Zustand der Randstreifen, die Verkehrsmischung (Personen- und Lastkraftwagen, Straßenbahn, Radfahrer, Fußgänger) und der Querverkehr auf kreuzenden Straßen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit. Die praktisch erreichbare Leistungsfähigkeit, bei der auch ein Ueberholen noch in ausreichendem Maße möglich ist, kann daher nur durch Verkehrserhebungen mit Zählgeräten und Zeitschreibern auf den vielen vorhandenen Land- und Stadtstraßen erfaßt und durch Analysierung der verschiedenen Einflüsse untersucht werden (vgl. Schlums und Pampel, Deutsche Straßenverkehrszählgeräte, Straße und Autobahn 1953, S. 317).

II. Wirtschaftliche Linienführung der Eisenbahnen und der Straßen.

Schon Georg Stephenson hat die Fahrbahn, die Lokomotive und den Wagenzug als eine einheitliche Maschine bezeichnet, die in ihrer Gesamtheit und in ihren gemeinsamen Funktionen zu gestalten ist. Aus diesem Grundsatz ergibt sich, daß

bei der Verschiedenartigkeit der Triebfahrzeuge, der Fahrbahn- und Fahrzeugwiderstände, der Haftreibung und der Zuglasten für Eisenbahnen und für Autobahnen auch die Gestaltung der Trasse nach ihren Neigungen und Krümmungen verschiedenartig ist. Um dies für die Triebfahrzeuge und Zugwiderstände zu zeigen, sind in Abb. 2 oberhalb der Geschwindigkeitsachse die Linien der Fahrkräfte je Tonne auf der waagerechten geraden Bahn dargestellt.

- 1 e) Für einen schweren Güterzug mit der Zuglast von 1400 t, der auf einer Flachlandbahn von der Regelgüterzuglok der Bundesbahn gezogen wird,
- 2 e) für einen Güterzug von 540 t Zuglast, der auf der größten zulässigen Steigung von 25 ‰ einer Hauptbahn von der stärksten Güterzuglok befahren wird,
- 3 a) für einen voll beladenen Lastkraftwagen „Titan“ SW 6 von 210 PS ohne Anhänger mit dem Gesamtgewicht 16 t,
- 2 a) für denselben LKW mit einem voll beladenen zweiachsigen Anhänger mit insgesamt 32 t Gewicht,
- 1 a) für denselben LKW mit einem voll beladenen dreiachsigen Anhänger mit 37,6 t Gesamtgewicht.

Unterhalb der Geschwindigkeitsachse sind die Laufwiderstände (w — Linien) des Güterzuges und der LKW auf einer Autobahn aufgetragen.

Zwei Tatsachen erkennt man aus der Abb. 2, die dem Trassieren der Eisenbahnen und der Autobahnen das Gepräge aufdrücken. Die erste Tatsache ist, daß die Fahrkräfte je Tonne Zuggewicht schon auf der waagerechten geraden Bahn in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit verhältnismäßig klein sind. Liegen auf einer Steigung auch noch Krümmungen, so wird hierdurch der Zugwiderstand erhöht. Man wählt daher für die Ueberwindung eines Höhenunterschiedes bei gleichmäßiger Lokomotivbeanspruchung nicht nur eine gleichbleibende Steigung in den geraden Streckenabschnitten, sondern man ermäßigt diese Steigung in den Krümmungen noch um den Bogenwiderstand. So erhält man eine Linie gleichbleibenden Widerstandes, auf der der durchfahrende Zug die erreichte Geschwindigkeit unverändert beibehalten kann. Eine Linie gleichbleibenden Widerstandes paßt sich nicht besonders gut dem Gelände an und es entstehen, abgesehen vom Flachland, erhebliche Einschnitte und Dämme, die den Eisenbahnbau verteuern. Ist die Steigung zur Ueberwindung eines Höhenunterschiedes zu klein, so wird die Bahnlinie unnötig lang und die Baukosten werden größer. Ist sie dagegen zu steil, so wird die der Lokomotive angehängte Zuglast zu klein und die Betriebskosten je t Last wachsen. Daher wurde vom Verfasser für eine Gebirgsüberquerung eine Gleichung der wirtschaftlichsten maßgebenden Steigung einer Eisenbahnlinie gleichbleibenden Widerstandes aus dem Kostenminimum für die Beförderung einer Tonne Last eines durchfahrenden Güterzuges ermittelt. Die Gleichung wird für die stärkste Dampf- bzw. Elektrolok und für eine durch Schätzung ermittelte Verkehrsstärke der Neubaulinie gelöst. Hierbei zeigt sich, daß bei Verwendung einer gleichschweren Elektrolok beim Kostenminimum die wirtschaftliche maßgebende Steigung bedeutend größer wird und die Länge der Linie und ihre Baukosten sowie die Ausgaben für die Beförderung einer Tonne Last bedeutend kleiner als beim Dampftrieb werden. Die Lösung dieser Aufgabe wird durch die Anwendung der vom Verfasser eingeführten Kostenmaßstäbe erheblich vereinfacht.

Die zweite Tatsache, die man aus der Abb. 2 erkennen kann, ist, daß der Bereich der Fahrkräfte je Tonne der Lastkraftwagen auf der waagerechten Bahn

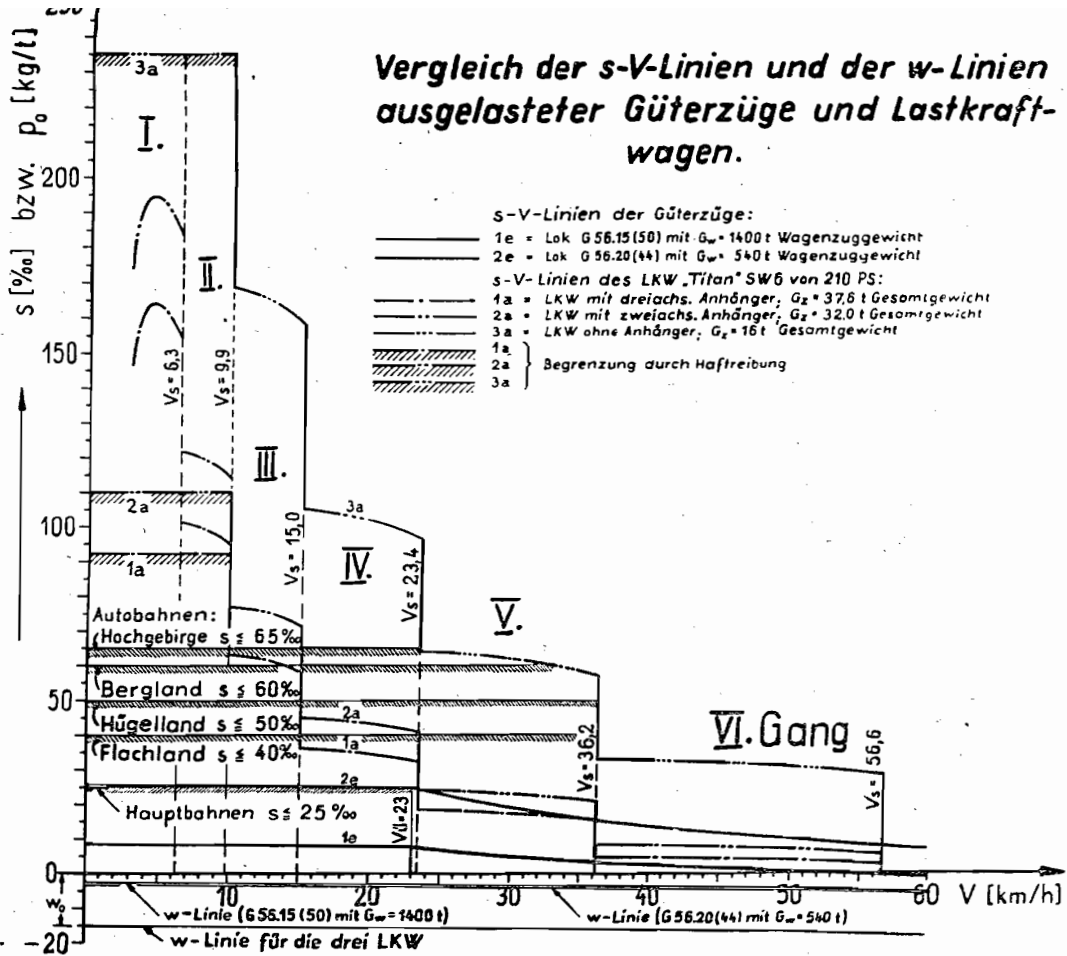


Abb. 2

in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit groß ist. Infolgedessen ist auch der Bereich der Steigungen, die mit diesen Zugkräften befahren werden können, erheblicher. Die Autobahnen passen sich daher viel besser dem Gelände an. Im Gegensatz zur Eisenbahnlinie gleichbleibenden Widerstandes ist aber bisher für das Aufsuchen einer Autobahnstraße keine eindeutige Regel gegeben. Man war zwar bestrebt, die Autobahnen nach dem Gesetz der Stetigkeit harmonisch in die Landschaft einzufügen. Letzten Endes ist es aber das Ziel, die Verkehrswege so anzulegen, daß die Gütertransporte möglichst wirtschaftlich werden. Diese verbrauchen ja bei schweren Lasten mehr Zeit und Brennstoff und erfordern größere Bremskräfte als die Personenwagen.

Man hat die Autobahnen anfangs steiler gebaut als es sich nachher als richtig erwies. Dies hat nach Mitteilung des Straßenneubauamtes (Autobahn) Nürnberg auf eine Anfrage aus dem Leserkreis der Verkehrs Rundschau 1952, S. 639, folgenden Grund:

„Damals hat man die Lastwagen-Industrie wegen der zulässigen Steigungen befragt, und die Antwort erhalten, daß die Motore künftig so stark sein würden, daß man unbesorgt Steigungen bis 7 oder 8 Prozent bauen kann. Leider ist die vorausgesagte Entwicklung bisher nicht eingetreten und soweit die Motore tatsächlich etwas stärker geworden sind, ist die Wirkung durch Zunahme der geladenen Lasten wieder aufgehoben worden.“

Bei schweren ausgelasteten Lastkraftwagen zehrt aber die Fahrt auf einer langen Steigung stets an der Lebensdauer des Motors und des Getriebes. Jeder Fahrer scheut das Schleichen des LKW bei niedrigen Gängen. Es ist nicht möglich, ohne schädliche Belastung der Motore die Geschwindigkeit hier zu steigern. Ist die Geschwindigkeit auf langen starken Gefällstrecken, die man dem Wagen zumutet, zu groß, so besteht die Gefahr, daß die Wagen bei Ueberanstrengung der Bremsen durchgehen. Um bei künftigen Autobahnen und Straßen diese Mißstände zu vermeiden, wurde vom Verfasser ein Verfahren entwickelt, wonach man im Voraus zeichnerisch ermitteln kann, welche Höchstneigung für schwere Lastkraftwagen in Frage kommt. Nach diesem Verfahren wurde die geplante Autobahn Nürnberg—Frankfurt (M) über den Spessart untersucht. Hierbei hat sich gezeigt, daß bei allen Wahllinien nirgends eine steilere Neigung als 4 Prozent zweckmäßig ist. Dies konnte aus den Ermittlungen der Geschwindigkeit, der Fahrzeiten und dem Treibstoffverbrauch nach dem Verfahren des Verfassers entschieden werden. Durch Versuchsfahrten auf bestehenden Autobahnen sind die hiernach berechneten Werte nachgeprüft worden und es hat sich eine ausgezeichnete Uebereinstimmung von Rechnungen und Versuchsfahrten ergeben. (Vgl. W. Müller: „Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Fahrzeiten, des Betriebsstoffverbrauches und der Fahrkosten der Kraftwagen.“ Verkehrstechnik 1930, S. 97, ferner „Fahrt eines Lastkraftwagens auf senkrechten Ausrundungsbogen einer Autobahn“ in „Die Straße“ 1940, H. 19/20.)

Aber nicht nur die wirtschaftliche Trassierung der Autobahn an und für sich, sondern auch ihre Lage zu dem sie umgebenden Straßennetz ist von besonderer Wichtigkeit. Diese Raumbeziehung klärt C. Pirath durch die Vorsprungszonen auf. Pirath schreibt hierüber in seiner „Verkehrswirtschaft“ (2. Auflage, S. 68): „Das weitmaschige Netz der Reichsautobahnen bringt grundsätzliche Wandlungen in die Raumerschließung durch den Kraftwagenverkehr mit sich. Es ist dabei für jeden Ort, vor allem für die großen Siedlungen die stets wichtige Frage zu beantworten, ob bei Fernreisen mittels Kraftwagen von einem bestimmten Ort aus, die Landstraße oder die Reichsautobahn aus Gründen der Zeit- und Kosten-

ersparnis zweckmäßig benutzt werden. Nach einem allgemeingültigen Verfahren (Pirath, „Zeit und Kostenvorsprung der Reichsautobahnen für die Raumüberwindung mittels Kraftwagen“, Raumforschung und Raumordnung, H. 16, Heidelberg, 1938) lassen sich hierbei die Einflüsse der Vorsprungszonen der Reichsautobahnen für einen bestimmten Ausgangsort gegenüber den im gleichen Raume liegenden Landstraßen ermitteln, und für die Verlagerung der Straßenverkehrsströme im Fernverkehr im Bereich des Ausgangsortes, durch die Reichsautobahnen auswerten. Umgekehrt läßt sich für jeden Ort der Landschaft ermitteln, ob von ihm aus irgend ein anderer Ort der Landschaft schneller oder billiger über die Reichsautobahn zu erreichen ist oder über das Landstraßennetz. Die Grundmaßstäbe der Raumerschließung sind wichtige Elemente im Rahmen der Raumplanung, da sie für jedes einer Neuplanung zu unterwerfende Gebiet die Reichweite und die Grenzen der Verkehrsbedienung durch die vorhandenen Verkehrsmittel aufzeigen und je nach den Bedürfnissen der Raumwirtschaft wichtige Hinweise für die Verbesserung und etwaige Neuplanung der Verkehrsmittel vermitteln.

Für die Schätzung des Eisenbahnverkehrs einer Neubaulinie hat Pirath in seiner Verkehrswirtschaft, 2. Auflage, S. 203, eine Methode entwickelt, die den allgemeinen und den besonderen Verkehr für Personen und Güter aus den Einflußzonen der einzelnen Stationen sowie auch den Durchgangsverkehr erfaßt. Für die Schätzung des Straßenverkehrs hat J. Schlums (vgl. Zeitschrift „Raumforschung und Raumordnung“ 1942, H. 8/9, S. 237) ein Verfahren entwickelt, das ohne Durchführung neuer Verkehrszählungen den zu erwartenden Verkehr erfaßt. Dieses Verfahren baut sich aus den korrelativen Zusammenhängen zwischen dem Verkehr und allen Größen, die auf seine Stärke Einfluß haben, auf.

Man sieht aus diesen Betrachtungen der Eisenbahnen und der Straßen, daß die Eigenart der verwendeten Energie, des Materials und der Konstruktion der Verkehrsmittel, die aus Fahrzeugen und Fahrbahn bestehen, sowohl die Trasse als auch den Betrieb auf ihr formt.