

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen

Schriftleitung: Dr. Ing. H. Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

87. Jahrgang

15. Februar 1932

Heft 4

## Gesetzmäßigkeiten beim Ausbau von Eisenbahnschwellen.

Von Dr. Ing. R. Vogel, Gesellschaft für Oberbauforschung, Berlin.

Hierzu Tafel 8 und 9.

### Inhaltsverzeichnis:

Zeichnerische Wiedergabe von Schwellenstatistiken. — Bisherige Forschungsergebnisse über den gesetzmäßigen Verlauf der Ausbaulinien. — Kritik und neue Erkenntnisse. — Die sächsische Holzschwellenstatistik. — Sonstige verwertbare und nicht verwertbare Holzschwellenstatistiken. — Die badische Eisenschwellenstatistik. — Auffinden des gesetzmäßigen Verlaufes der Ausbaulinien: die durch eine Funktion veränderte Gauss'sche Wahrscheinlichkeitslinie. — Praktischer Nutzen der gefundenen Gesetzmäßigkeiten.

### I. Allgemeines.

Jedes Unternehmen ist genötigt, die Wirtschaftlichkeit seiner Anlagen laufend zu prüfen, um die des Ganzen erhalten zu können. Je umfangreicher die Anlagen sind, desto schwieriger, aber auch desto notwendiger ist die Überwachung ihrer Wirtschaftlichkeit. Den Eisenbahnverwaltungen war in dieser Hinsicht von jeher der Oberbau ein besonderes Sorgenkind. Das rasche Anwachsen des Verkehrs und der Betriebslasten im vergangenen halben Jahrhundert zwang zu häufiger Verstärkung der Schienen und der Unterschwellung, wodurch die Beobachtungen über Brauchbarkeit der gewählten Oberbauarten an sich und die Vornahme von Wirtschaftlichkeitsberechnungen sehr erschwert wurden. Deren Zuverlässigkeit hängt vorwiegend von der Genauigkeit ab, mit der die mittlere Lebensdauer der Einzelteile bestimmt werden kann. Bei Einführung einer neuen Oberbauart ist die Kenntnis der Lebensdauer aller Einzelteile der bisherigen Bauarten besonders wichtig, weil sie im Verein mit sorgfältigen Beobachtungen Aufschluß über die Mängel des Alten und Anhaltspunkte für Schätzung der Lebensdauer des Neuen sowie für die Bemessung des Mehraufwandes für Verbesserungen bietet.

Auch für die Prüfung, welche der eingeführten Oberbauarten wirtschaftlich am günstigsten abschneidet, ist die Kenntnis der mittleren Lebensdauer wenigstens der teuersten Einzelteile, z. B. der Schwellen, erforderlich. Wollte man, um ganz genaue Ergebnisse zu erzielen, den Ausbau der letzten Schwelle abwarten, dann könnte bestenfalls die dritte Generation nach uns ein Urteil über Vor- und Nachteile der heutigen Maßnahmen gewinnen und vielleicht noch nicht einmal für sich praktischen Nutzen daraus ziehen, weil inzwischen die Verhältnisse vollkommen andere sein können. Bei wirtschaftlichen Vergleichen kommt es schließlich nicht darauf an, die mittlere Lebensdauer auf den Bruchteil eines Jahres genau festzustellen; es genügt dafür eine Genauigkeit bis auf ein oder zwei Jahre. Daß Schätzungen, die letzten Endes nur Ansichten oder Hoffnungen einzelner Persönlichkeiten ausdrücken, mit weit größeren Fehlern behaftet sind und daher nicht als zuverlässig genug angesehen werden können, braucht wohl nicht besonders betont und bewiesen zu werden. Wohl aber ermöglicht die Kenntnis des Verlaufes der Ausbaulinie, die mittlere Lebensdauer nach teilweisem Ausbau mit der erstrebten Genauigkeit vorauszubestimmen. Deshalb bemühen sich die Eisenbahningenieure seit langem, die Gesetzmäßigkeit des Abfalls der Oberbauteile, namentlich der Schwellen, zu ermitteln.

Das Fachschrifttum bietet eine Fülle von Abhandlungen, die sich vorwiegend mit den Einflüssen der Tränkungsarten auf die Lebensdauer der Holzschwellen befassen. Meistens werden hölzerne Leitungsmasten, die sich ganz ähnlich verhalten wie Holzschwellen, in die Betrachtungen einbezogen. Diese zahlreichen Aufsätze, die zu einem großen Teil hohen

wissenschaftlichen Wert besitzen, vermochten jedoch die für die Eisenbahnverwaltungen so wichtige Frage der mittleren Lebensdauer der Schwellen nicht restlos zu klären. Statistiken über den Abfall der Schwellen sind bei den meisten Eisenbahnverwaltungen entweder überhaupt nicht oder nur in so geringem Umfange und so unvollständig geführt worden, daß man daraus auch heute noch nicht die Gesetzmäßigkeit mit voller Sicherheit erkennen kann. Wohl aber kommt man in dieser Frage einen Schritt weiter, wenn man — was in der vorliegenden Abhandlung geschehen soll — die bisherigen Einzelergebnisse im Zusammenhang betrachtet. Hiermit sei eine Besprechung der über den gesetzmäßigen Verlauf des Schwellenabfalls bisher bekannt gewordenen Forschungsergebnisse verbunden. Sie sind vorwiegend zu finden in den Abhandlungen von Dr. phil. Dr. Ing. Fr. Moll, Privatdozent an der Technischen Hochschule Berlin<sup>1)</sup>, Vaso (Basilius) Malenkovic, Wien<sup>2)</sup> und M. J. D. Mac Lean, Forstingenieur des „Forest Product Laboratory“ der U. S. A., Madison, Wis.<sup>3)</sup>, die z. T. die Erkenntnisse anderer Forscher wiedergeben und verwerten.

Um auch dem Nichteingeweihten das Lesen dieser Abhandlung zu erleichtern, seien der Besprechung der oben genannten Aufsätze einige allgemeine Bemerkungen über Ausbau- oder Abfalllinien vorausgeschickt.

Man unterscheidet zwei Arten von Ausbaulinien: Trägt man zu einer Waagerechten, auf der die Betriebsjahre als Abszissen angegeben sind, die alljährlich ausgebauten Schwellen in Prozenten der Einbaumenge als Ordinaten auf und verbindet die Ordinatenendpunkte, dann entsteht die Ausbaulinie für alljährlichen (Einzel-) Abfall. Ihre Form, die später noch erläutert wird, ist dem geschriebenen lateinischen Buchstaben A ähnlich; sie soll daher im folgenden kurz „A-Linie“ genannt werden. Addiert man die alljährlichen Abfälle der A-Linie fortlaufend und verbindet die so entstandenen Ordinatenendpunkte, dann entsteht die Summenausbaulinie oder Summenlinie. Sie hat Ähnlichkeit mit dem Integralzeichen oder dem schräggestellten lateinischen Buchstaben S und sei daher kurz „S-Linie“ genannt.

Sodann muß etwas über die zeichnerische Wiedergabe der Statistiken gesagt werden. Fast alle, die sich bisher mit der Gesetzmäßigkeit des Schwellenabfalls befaßt haben, sind sich darüber einig, daß die A-Linie hutförmig und die S-Linie

<sup>1)</sup> a) Gesetzmäßigkeiten im Abfall imprägnierter Maste und Eisenbahnschwellen, Helios 1914, S. 322 bis 326.

b) Ermittlung der Lebensdauer imprägnierter Hölzer, Mahlke-Troschel, Handbuch der Holzkonservierung, 2. Auflage, Verlag Julius Springer, Berlin 1928.

c) Die Anwendung der Variationskurven bei der Auswechslung von Telegraphenstangen und Leitungsmasten wegen Fäulnis. (Nicht veröffentlicht.)

<sup>2)</sup> Abfallverlauf und mittlere Lebensdauer bei hölzernen Leitungsmasten, Elektrotechnische Zeitschrift 1922, S. 501 bis 503.

<sup>3)</sup> Planmäßige Erneuerung und mittlere Lebensdauer von Eisenbahnschwellen, „Bulletin du Congrès des Chemins de Fer“ 1927, S. 324 bis 331.

in Integralform geschwungen sein muß. Da nur wenige Statistiken bis zu einem Abfall von 100% der Einbaumenge geführt sind, weiß man noch nicht, ob ansteigender und abfallender Ast der A-Linie und unterer und oberer Ast der S-Linie symmetrisch sind. Es wird aber in der Regel mit dieser Symmetrie, da sie sich aus den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit ergibt, gerechnet; sie soll daher für die anschließenden Erklärungen als zutreffend angesehen werden. Für die Bestimmung der mittleren Lebensdauer  $L_m$  sind dann der Scheitel der A-Linie und der Wendepunkt der S-Linie maßgebend. In der Statistik ist es nun üblich geworden, sowohl die alljährlichen (A) als auch die fortlaufend summierten Abfälle (S) am Ende jedes Jahres aufzutragen. Hierbei schneidet die S-Linie die 50%-Linie (Wendepunkt) ein halbes Jahr vor dem Zeitpunkt, an dem die A-Linie ihren Höhepunkt erreicht. Diesen offensichtlichen Widerspruch beseitigt Dr. Moll dadurch, daß er die S-Ordinaten am Jahresende, die A-Ordinaten aber in Jahresmitte aufträgt. Er sagt sich, daß wohl die im Laufe des Jahres ausgewechselten Schwellen bis zum Jahresende fortlaufend hinzugezählt werden müssen, die Auswechslungen in jedem einzelnen Jahre aber auf die Jahresmitte als Schwerpunkt zusammengezogen zu denken sind. Malenkovic läßt dagegen den Unterschied von einem halben Jahr bestehen, berechnet jedoch die mittlere Lebensdauer aus dem Zeitpunkt, in dem die S-Linie die 50%-Linie schneidet zuzüglich einem halben Jahr ( $L_m = L_{50} + 0,5$ ); das entspricht der Scheitellage der A-Linie, deren Ordinaten an den Jahresenden aufgetragen sind. Nach dieser Berechnung fällt also  $L_m$  stets ein halbes Jahr länger aus als nach der Berechnung von Dr. Moll. Zuzunehmen der Berechnungsweise von Malenkovic spricht die Tatsache, daß die Statistik sich nicht nur auf die im Laufe eines Kalenderjahres ausgebauten Schwellen, sondern auch auf die im Laufe eines Kalenderjahres verlegten Schwellen bezieht. Wenn in der Statistik, also am Ende des Kalenderjahres = Betriebsjahr 0, der Einbau von einer Million Schwellen erscheint, dann liegen diese im Durchschnitt bereits ein halbes Jahr; der Einbau erfolgt ja in der Regel von April bis September, im Durchschnitt also in Jahresmitte. Das Durcharbeiten des Gleises geschieht ebenfalls überwiegend in den Sommermonaten. Die unbrauchbar gewordenen Schwellen werden also jeweils in der Mitte eines Kalenderjahres und am Ende eines Liegejahres ausgebaut, wenn man sie sich wiederum auf den mittleren Zeitpunkt zusammengezogen denkt. In der Statistik erscheinen sie erst am Ende des Kalenderjahres, also ein halbes Jahr später. Da für die Bestimmung der mittleren Lebensdauer die tatsächlichen Liegejahre maßgebend sind, müssen also — wie das Malenkovic tut — die A-Ordinaten jeweils an den Jahresenden aufgetragen werden. Die S-Ordinaten dürfen dann aber — und damit wird der Standpunkt von Dr. Moll gerechtfertigt — nicht ebenfalls an den Jahresenden aufgetragen werden. Die erste Statistik über Abgang von Schwellen erscheint ja nicht ein Jahr, sondern anderthalb Jahre nach dem Verlegen; also muß auch die S-Ordinate für Statistikjahr 1 bei 1,5 Jahren nach dem Einbau aufgetragen werden. In sorgfältig geführten Statistiken werden auch bisweilen schon im Einbaujahr Abfälle verzeichnet; sie beziehen sich auf das zurückliegende halbe Jahr. Durch diese Art der Auftragung wird einerseits die Absicht Dr. Molls, Wendepunkt S und Scheitel A zeitlich gleich zu legen, andererseits die Ermittlung der Lebensdauer entsprechend den Absichten von Malenkovic dadurch richtiggestellt, daß sie auf die wirklichen Betriebsjahre und nicht auf die Kalenderjahre bezogen wird.

Man kann sich auch für die S-Linie die in den Sommermonaten entfallenden Schwellen auf Jahresmitte (= Jahresende der Statistik) zusammengezogen denken. Dann muß man aber die S-Linie entsprechend, d. h. stufenförmig (siehe

Abb. 1) darstellen. Will man diese Stufenlinie ausgleichen, dann darf man nicht, wie das merkwürdigerweise in der Statistik üblich geworden ist, die Gipfel verbinden (gestrichelt in Abb. 1), sondern man muß die Ausgleichsline zwischen die Gipfel und Täler hindurchführen. Die wirkliche S-Linie, die den Schwellenausbau über die Sommermonate verteilt wiedergibt, ist schlangenförmig (punktiert in Abb. 1). Ihre Ausgleichsline fällt mit der in Abb. 1 vollauszogenen „gemittelten S-Linie“ zusammen. Man gelangt also auch über

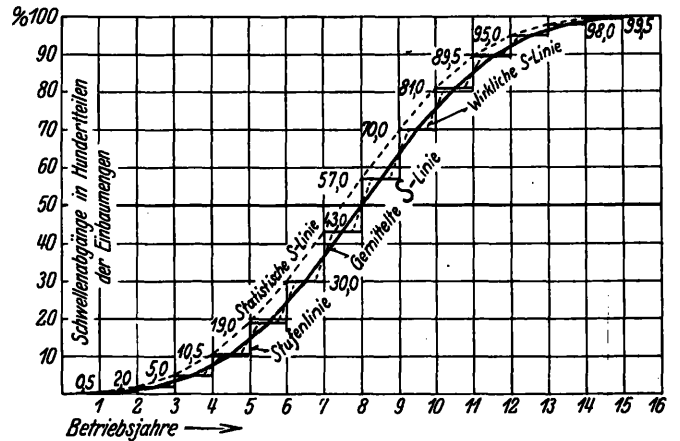


Abb. 1.

den Ausgleich der Stufen- und der Schlangenlinie zu der S-Linie, die aus Verbindung der jeweils ein halbes Jahr später aufgetragenen S-Ordinaten entsteht.

Das Verschieben der S-Ordinaten um je ein halbes Jahr ist zeichnerisch etwas unbequem, es bietet aber den Vorteil, daß bei Bestimmung der mittleren Lebensdauer die Addition eines halben Jahres nicht übersehen werden kann, wie das häufig geschieht. Auch kann man ohne Verschiebung der S-Linie für Wirtschaftlichkeitsrechnungen größere Abschnitte unterteilen.

In sämtlichen folgenden Beispielen werden die A-Ordinaten an den Jahresenden (Abb. 1a), die S-Ordinaten jeweils ein

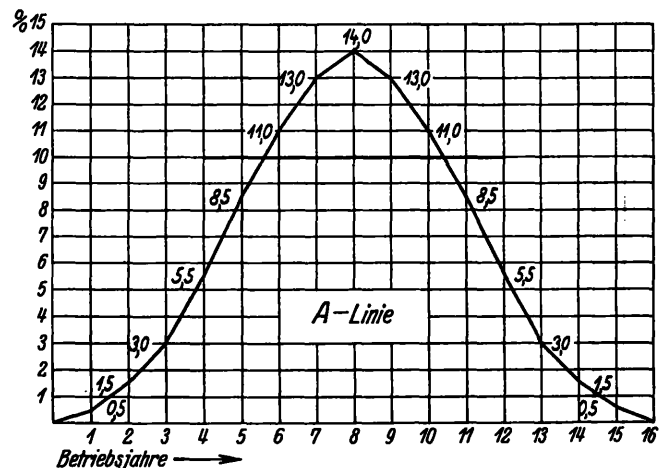


Abb. 1a.

halbes Jahr später aufgetragen (gemittelte S-Linie, Abb. 1), so daß bei symmetrischer S-Linie Wendepunkt, Schnitt mit der 50%-Linie und Zeitpunkt der mittleren Lebensdauer zusammenfallen.

## II. Bisherige Forschungsergebnisse.

Mit dem gesetzmäßigen Verlauf der Ausbauhinien hat sich erstmalig Plattner (Zeitschrift für Bauwesen 1860) befaßt; verwertbare Ergebnisse brachte aber erst Dr. Moll. An den Anfang seiner Abhandlung 1a) stellte er folgende beachtenswerte Sätze:

„Die Grundlage aller technischen Wissenschaften ist die Empirie, die Zusammenfassung Hunderter von einzelnen Tatsachen zu einem einheitlichen Gebäude. Nur durch sorgfältiges Zusammentragen großer Mengen von einzelnen Beobachtungen ist es möglich, Gesetzmäßigkeiten aufzudecken und auf ihnen aufbauend Fortschritte und Verbesserungen in der Technik einzuführen.“

An Hand von 39 der Statistik entnommenen Beispielen, die sich auf rohe und verschiedenartig getränkte Leitungsmaste und Schwellen aus Kiefern-, Lärchen-, Buchen- und Eichenholz und ganz verschieden große Beschaffungsmengen (1000 bis über 1 Million Stück) beziehen, zeigt Dr. Moll, daß die Ausbaulinien in ihrer Form stark voneinander abweichen. Er bezeichnet den Versuch, für die verschiedenen Kurven eine gemeinsame Gleichung aufzustellen, als ein unnützes Bemühen. Dann bildet er aber das Mittel aus

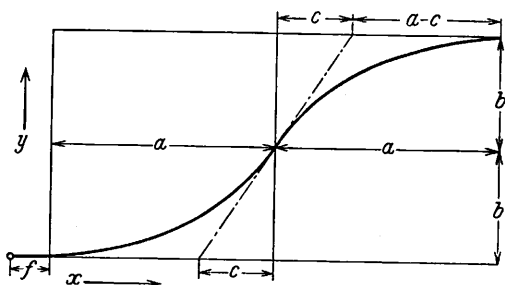


Abb. 2.

24 Einzellinien für Schwellen, aus 15 Linien für Stangen und aus allen 39 Ausbaulinien zusammen und gewinnt dadurch ziemlich ausgeglichene, wenig voneinander abweichende Kurven. Sie ähneln auffallend der Integrationslinie der Gaußschen Wahrscheinlichkeitskurve. Dr. Moll weist nach, daß die bis dahin als gesetzmäßige Kurve angesprochene Sinuslinie viel stärker von der von ihm errechneten mittleren Ausbaulinie abweicht als die Gaußsche Wahrscheinlichkeitskurve.

Die Tatsache, daß die Einzellinien anscheinend ungesetzmäßig, die Mittel aus einer größeren Zahl aber sehr regelmäßig verlaufen, rechtfertigt die Ansicht Dr. Molls, daß nur das Zusammentragen umfangreichsten Beobachtungsmaterials dem mühevollen Forschen nach der Gesetzmäßigkeit des Schwellenabgangs zum Erfolg verhelfen kann.

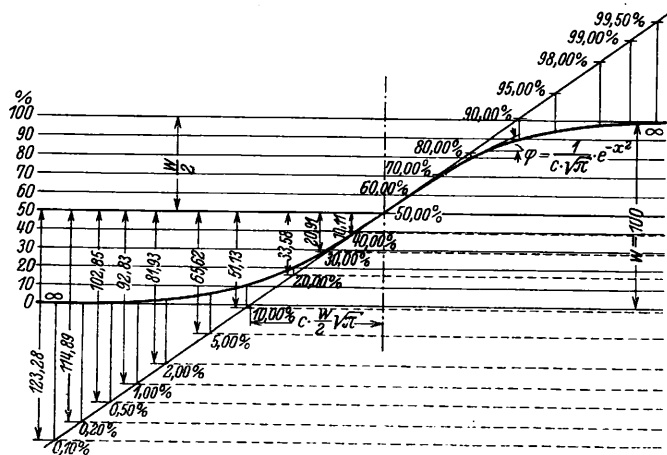


Abb. 3.

Dr. Moll bildet das Mittel aus den 39 Einzellinien auf folgende Weise: Er geht von den A-Linien aus und glättet zunächst ihren meistens zackigen Verlauf dadurch, daß er aus je drei aufeinander folgenden Ordinaten das arithmetische Mittel zieht. Sodann bildet er für jede Einzelkurve die S-Linie

und bestimmt daraus Zahlenwerte der mittleren Lebensdauer, die ganz verschieden ausfallen. Um die Bildung von Durchschnitten zu ermöglichen, rechnet er alle Einzellinien auf übereinstimmend zehn Jahre mittlerer Lebensdauer um und zieht aus ihnen das arithmetische Mittel (Mittelung in waagerechter Richtung), wobei er alle Einzellinien als gleichwertig behandelt, also die Stückzahlen, auf die sie sich beziehen, nicht berücksichtigt.

Hinsichtlich der Bestimmung der mittleren Lebensdauer vor dem Ausbau der letzten Schwellen vertritt Dr. Moll den Standpunkt, daß sie erst nach einem Gesamtabfall von mindestens 50% der Einbaumenge mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  angegeben werden kann. Dieses Urteil bezieht sich offenbar auf die Einzellinien, also auf verhältnismäßig geringe Mengen.

Dagegen ist Malenkovic<sup>2)</sup> der Meinung, daß man schon nach einem Abgang von 5%, wenn bis dahin die Kurve leidlich regelmäßig verläuft, mit genügender Genauigkeit ( $\pm 1$  bis 2 Jahre) den Zeitpunkt berechnen kann, in dem 50% Abfall erreicht sind. Er hält aber hierfür die Anwendung der Formel der Wahrscheinlichkeitskurve, die er an sich als gesetzmäßige Abfalllinie anerkennt, für zu umständlich und gibt als praktisch genügend genau für die S-Linie eine Potenzkurve mit der Gleichung:

$$\log y = A + B \log x = \left( \log b - \frac{a}{c} \log a \right) + \frac{a}{c} \log x = \log b - \frac{a}{c} \log \frac{a}{x}$$

an, deren Größen aus Abb. 2 zu ersehen sind.

Einen sehr beachtlichen Weg zur Auffindung des gesetzmäßigen Verlaufs der Ausbaulinien ist das Forest Product Laboratory der U. S. A. in Madison, Wis.<sup>3)</sup> gegangen. Es sind 70397 getränkte Schwellen in 37 Gruppen und 57155 rohe Schwellen in 58 Gruppen in verschiedene Bahnstrecken mit verschiedenen Anlageverhältnissen und Verkehrsbelastungen verlegt und sorgfältig beobachtet worden. Der Schwellenabfall wurde alljährlich von einer Kommission festgestellt und nach Ausbau aller Schwellen für jede Gruppe

Linie X für 70397 getr. Schwellen  
Linie Y für 57155 ungetr. Schwellen  
Linie Z für alle 127552 Schwellen

die mittlere Lebensdauer bestimmt, die wegen der großen Unterschiede in Schwellenstoff, Anlage und Verkehrsbelastung sehr stark streute. Um zur Mittelbildung zu gelangen, wurde für jede Gruppe errechnet, bei welchem Prozentsatz der mittleren Lebensdauer 5%, 10%, 20% usw. der ursprünglichen Einbaumenge ausgebaut worden waren. Für alle 37 Gruppen getränkter Schwellen und 58 Gruppen roher Schwellen wurde dann gemittelt, so daß zwei Punktreihen (Linien X und Y) entstanden. Das kommt praktisch auf die Reduktion auf zehn Jahre mittlerer Lebensdauer hinaus, die Dr. Moll anwendet. Ob das F. P. L. bei dieser Mittelung die Stückzahlen der Einzelgruppen berücksichtigte, gibt Mac Lean in seinem Aufsatz

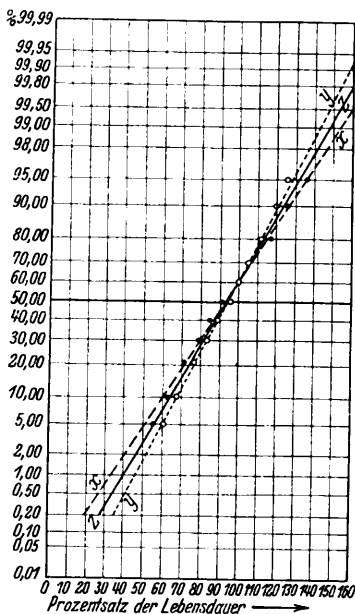


Abb. 3a.

nicht an. Die Punktreihen X und Y wurden auf „Wahrscheinlichkeitspapier“ (Abb. 3a) übertragen. Da es später noch angewandt wird, sei seine Entstehung an Hand der Abb. 3

geschildert. Man trägt eine beliebige integrierte Gaußsche Wahrscheinlichkeitskurve mit der Gleichung

$$\Phi(x) = \frac{1}{C\sqrt{\pi}} \int_{x=-\infty}^{x=+\infty} e^{-x^2} \cdot dx$$

für  $h=1$  und  $C$  als Maßstabkonstante (vergl. Hütte, 25. Aufl., S. 81 und 153) auf und projiziert einzelne Punkte (40, 30, 20, 10, 5, 2, 1 usw. %) auf die Wendetangente mit der Neigung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{C\sqrt{\pi}}$$

Durch die Schnittpunkte zieht man Waagerechte und erhält so das Wahrscheinlichkeitspapier. In diesem Netz wird also die S-Linie zur Geraden = Wendetangente gestreckt und läßt sich dadurch zeichnerisch außerordentlich einfach darstellen. Umgekehrt kann man sagen: Liegt eine aus Aufzeichnungen gewonnene Punktreihe im Wahrscheinlichkeitsnetz annähernd in einer Geraden,

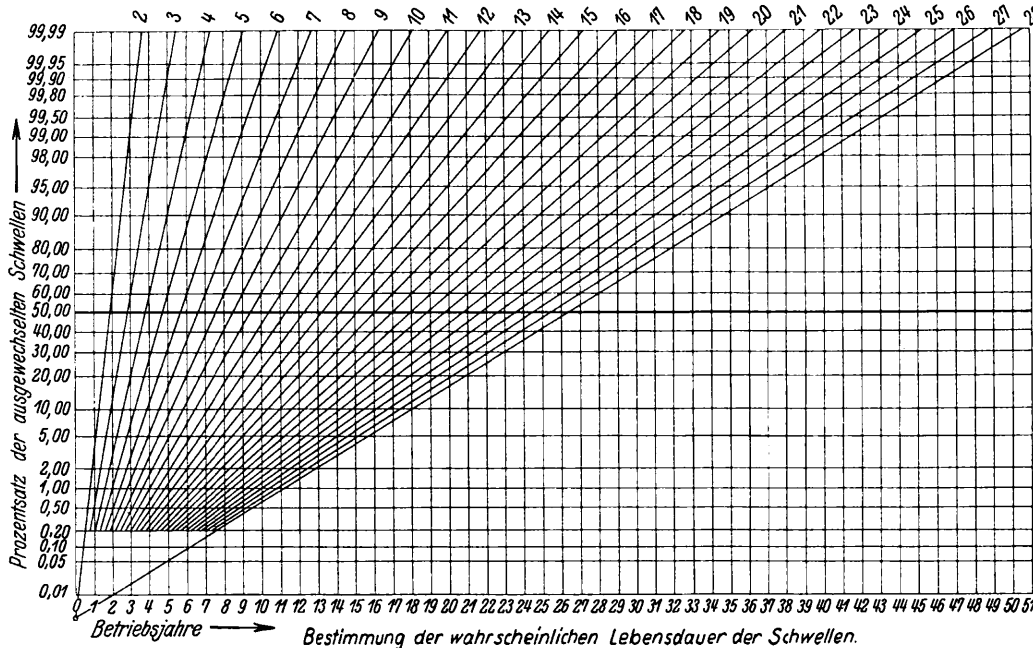


Abb. 4.

dann ist die gesetzmäßige Kurve die integrierte Gaußsche Wahrscheinlichkeitslinie. Es ist dabei gleichgültig, in welcher Neigung zur Grundlinie diese Gerade verläuft. Abb. 3a zeigt, daß die Linien X und Y in verschiedener Richtung laufen. Die Linie für rohe Schwellen (Y) ist steiler als die Linie für getränkte Schwellen (X). Das Forest Product Laboratory spricht diese Abweichung offenbar als Zufälligkeit an, die durch die geringen Beobachtungsmengen zu erklären wäre, und wählt als gesetzmäßige Linie für alle 127552 Schwellen die Winkelhalbierende Z, die die O-Linie (Einbaujahr) etwas unter 0,01% Abfall schneidet. Dieser Schnittpunkt gilt als Nullpunkt der Abb. 4, die der praktischen Ausnutzung der gewonnenen Erkenntnisse dienen soll. Wiederum ist das Wahrscheinlichkeitsnetz zugrunde gelegt: in waagerechter Richtung sind jedoch statt der  $L_m$ -Prozente die Betriebsjahre aufgetragen. Die Strahlen gehen durch den Nullpunkt und die Schnittpunkte der  $L_m$ -Jahre mit der 60%-Abfalllinie. Diese Tafel soll gestatten, die für das folgende Jahr in den einzelnen Strecken nötigen Ersatzschwellen mit ziemlicher Sicherheit zahlenmäßig vorauszubestimmen.

### III. Kritik und neue Erkenntnisse.

Da Malenkovic selbst nur eine angenäherte Bestimmung von  $L_m$  anstrebte, kann seine Berechnungsweise einer auf

Verfeinerung zielenden Untersuchung schwerlich als Ausgangspunkt dienen. Die Rechnungsergebnisse weichen zudem stärker von den wirklichen Werten ab, als er erwartete. Abb. 5 zeigt — voll ausgezogen — eine als Mittelwert aus vielen Einzellinien mit insgesamt 6,4 Millionen Schwellen (darunter 3,7 Millionen aus der Statistik der sächsischen Staatsbahn) errechnete Ausbaulinie. Sie erfüllt die für Anwendbarkeit der Berechnung gestellten Bedingungen: korrekte Statistik und regelmäßiger Verlauf. Nimmt man an, daß nur die Abfallwerte (S-Linie) bis zum achten Jahre bekannt seien, und bestimmt nach Abb. 2 die Größen  $a$  und  $f$  (hier negativ) aus den Ordinaten  $y_4$ ,  $y_6$  und  $y_8$ , dann ergibt sich nach Malenkovic der gestrichelt eingetragene weitere Verlauf der Ausbaulinie. Sie schneidet die 50%-Linie bei  $L_m = 13,98$  Jahren, also 2,2 Jahre vor der tatsächlichen S-Linie (Fehler — 13,6%). Für eine Ausbaulinie mit beispielsweise  $L_{50} = 35$  Jahre wächst der Unterschied auf annähernd fünf Jahre an. Verläuft die Linie nicht ganz gleichmäßig, ändert sich also eine Ordinate nur um einige Prozent, dann kann der Fehler noch größer werden. Daß die Gestalt der Malenkovic'schen Kurve an der gesetzmäßigen Linie weit vorbeigeht, zeigt besonders deutlich die zugehörige A-Linie (Abb. 5a). Sie läuft in einer hohen Spitze aus und ist in der Form grundverschieden von der wirklichen A-Linie. Deshalb wird die Berechnungsweise von Malenkovic für die folgenden Untersuchungen außer Betracht gelassen.

Wohl aber kann man auf den Untersuchungsergebnissen von Dr. Moll und Mac Lean aufbauen. Es ist das Verdienst Dr. Molls, die Ähnlichkeit der gesetzmäßigen Ausbaulinie mit der Gaußschen Häufigkeitskurve festgestellt zu haben, und es bleibt ungeschmälert bestehen, auch wenn die weiteren Untersuchungen das Endergebnis etwas verändern. Dr. Moll hat

den Weg gewiesen; ihn fortzugehen ist leichter als ihn zu finden.

Dr. Moll mittelte in waagerechter Richtung nach Umrechnung aller Einzellinien auf übereinstimmend zehn Jahre mittlere Lebensdauer. Diese Mittelungsart kann gute Werte ergeben, wenn die Wendetangenten der Einzelkurven annähernd die gleiche Neigung haben, also das Verhältnis  $b:c$  in Abb. 2 annähernd konstant ist. Eine Überprüfung ergab jedoch, daß bei S-Linien für rohe Schwellen die Wendetangenten im Durchschnitt etwas steiler verlaufen als bei S-Linien für getränkte Schwellen. Auch die Lage der X- und Y-Linie in Abb. 3a (Forest Product Laboratory) bestätigt das. Die abweichenden Richtungen sind kein Zufall, sondern in der Verwendungsart der beiden Schwellen wohl begründet; die Erklärung wird später gegeben. Da ferner damit zu rechnen war, daß sich das Verhältnis  $b:c$  in Abb. 2 auch mit Zunahme von  $L_m$  ändern könnte, bildete ich zunächst Gruppen gleichartiger Schwellen — rohe Kiefer, mit Zinkchlorid getränkte Kiefer, rohe Eiche, mit Zinkchlorid und Teeröl getränkte Kiefer usw. —. Leitungsmaste schied ich aus der Untersuchung aus, da ihre Verwendungsart anders ist als die der Schwellen. In einigen Gruppen lagen die Einzellinien gut zusammen, so daß sie ein Büschel bildeten; in anderen Gruppen — z. B. bei rohen Kieferschwellen — streuten sie aber sehr stark.

Ich versuchte nun, die einzelnen Gruppen nach der von Dr. Moll gewählten Art zu mitteln, indem ich z. B. für rohe Kiefernswellen  $L_m = 8$  Jahre, für rohe Eiche  $L_m = 16$  Jahre usw. setzte und darauf die Einzellinien umrechnete. Da durch das Auseinanderziehen die Zahl der Einzellinien gering geworden war, zumal Leitungsmaste und nach anderen Verfahren getränkte Schwellen, die als Einzellinien keiner der Gruppen anzufügen waren, ausfielen, entstanden wenig ausgeglichene Mittellinien. Ferner sind die Ergebnisse überwiegend unzuverlässig, weil die meisten Einzellinien statistisch nicht bis ans Ende verfolgt sind und daher zur Berechnung von  $L_m$  nach Schätzung ergänzt werden müssen. Hierfür bieten wohl vollständig geführte Linien Anhaltspunkte, der Willkür ist aber doch noch ein so reichlicher Spielraum gelassen, daß das Ergebnis schließlich mehr Hoffnungen als Beweise ausdrückt. Ich suchte deshalb nach einer Mittelungsart, die von der Vorausbestimmung von  $L_m$  unabhängig ist; das bedeutete: die Kurven stehen lassen, wie sie die Statistik bietet, und gleichartige Schwellenarten in der Weise mitteln, als wenn sie in einer einzigen Statistik zusammen verfolgt seien. Es ist ja durchaus denkbar, daß die Einzellinien zeitlich zusammenfallen und eine einzige Stelle die Meldungen über die Zahl der alljährlich ausgebauten Schwellen entgegennimmt und für die Statistik zusammenfaßt. Das kommt auf eine Mittelung in senkrechter Richtung hinaus und beseitigt gleichzeitig den offensichtlichen Mangel der Mittelungsart von Dr. Moll, daß die Unregelmäßigkeiten einer Ausbaulinie für beispielsweise 1000 Schwellen den glatten Verlauf einer Ausbaulinie für eine Million Schwellen eben durch die Mittelung wesentlich verändern kann. Wird aber der Schwellenabfall beider Linien zusammengezählt, dann ist die Linie für 1001000 Schwellen von der Linie für 1000000 Schwellen kaum zu unterscheiden, es sei denn, daß  $L_m$  bei beiden Linien stark verschieden ist. Hiermit wird die Frage der möglichen und tragbaren Streuung der Einzellinien im Büschel aufgerollt und mit ihr eine ganze Reihe anderer Fragen.

Was drückt überhaupt jede Ausbaulinie aus? Sie gibt ein Bild über Unterschiede

- 1., die sich aus der Beschaffenheit des Holzes sowie der Aufnahme und Wirksamkeit des Tränkstoffes ergeben,
2. der Bettung und deren Entwässerungsverhältnisse, die die Fäulnis mehr oder weniger stark fördern,
3. in der Anlage, soweit sie die Fäulnis beeinflusst (Damm, Einschnitt, Tunnel usw.),
4. in der Anlage, soweit sie die mechanische Zerstörung beeinflusst (gerades Gleis oder Kurve),
5. in der mechanischen Zerstörung als Folge ungleichen Zustandes der Befestigungsmittel (Toleranzen),
6. in der mechanischen Zerstörung als Folge verschieden hoher Zugbelastung und Zuggeschwindigkeiten. Bremsstrecken usw.,
7. in der Behandlung der Schwellen durch verschieden geschultes Unterhaltungspersonal und verschiedenartige Beurteilung der Ausbaureife von Schwellen,
8. aus Zufälligkeiten, die zum vorzeitigen Ausbau von Schwellen zwingen (Entgleisungen, Hochwasserkatastrophen,

Waldbrände, die Gleise in Mitleidenschaft ziehen); hierher gehört auch der Umbau der Gleise im Zusammenhang; dabei werden in der Regel Schwellen, die die zweite Liegezeit voraussichtlich nicht durchhalten, nicht im Zusammenhang wieder eingebaut, sondern teilweise zu Einzelauswechslungen, teilweise als Bauschwellen verwendet oder verkauft. In der Statistik erscheinen die Bauschwellen als Abfälle und verursachen eine Stufe mit folgendem Rückfall in der Ausbaulinie,

9. in der Wirtschaftslage des Landes und als deren Folge mehr oder weniger hohe jährliche Beschaffungsmengen für Unterhaltung und Erneuerung der Gleise.

Bei 1 und 2 handelt es sich um reine Häufigkeitserscheinungen; es ist daher ohne weiteres erklärlich, daß die aus diesen Ursachen entstehenden Ausbaulinien gesetzmäßig der Gaußschen Häufigkeitskurve nahekommen müssen. In der Bezeichnung „Häufigkeitskurve“ liegt schon der Hinweis,

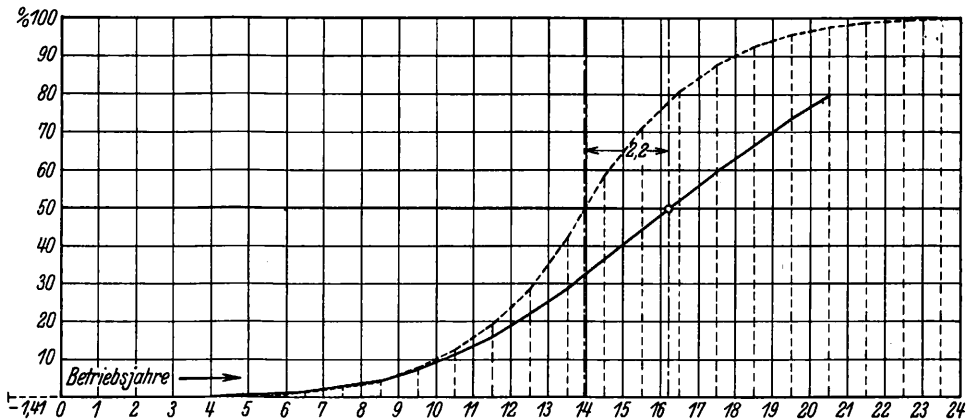


Abb. 5.

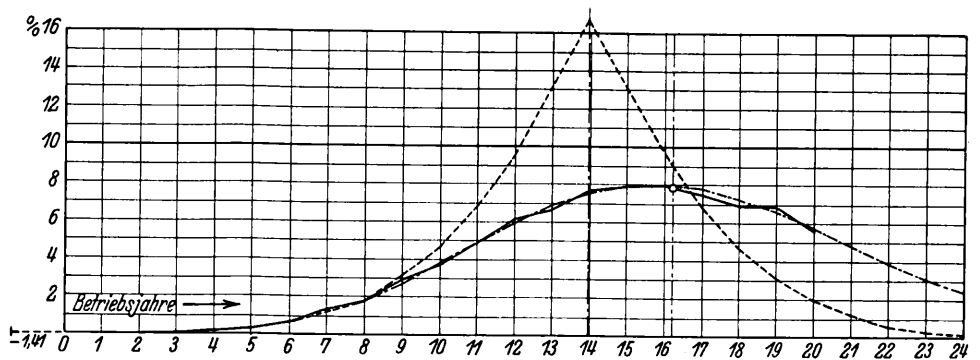


Abb. 5a.

daß regelmäßige Linien nur bei großen Beobachtungsmengen entstehen, kleine Mengen aber starken Schwankungen unterworfen sein können. 3 bis 7 wirken sich ebenfalls als Häufigkeitserscheinungen aus, wenn nicht nur die Beobachtungsmenge, sondern auch das Beobachtungsfeld groß ist. Vergleicht man zwei Amtsbezirke einer Direktion in bezug auf Anteile der Einschnitte und Dämme (3), gekrümmten und geraden Gleise (4), gutes und weniger gutes Unterhaltungspersonal (5), Zugbelastung und Geschwindigkeit (6) usw., dann wird man bisweilen größere Unterschiede feststellen. Erstreckt man aber den Vergleich auf zwei Direktionsbezirke, dann werden die Unterschiede schon kleiner; bei Zusammenfassung von drei bis vier Direktionen kommt man dem Reichsdurchschnitt schon recht nahe. Betrachtet man die Einflüsse 3 bis 7 auf die Fäulnis und die mechanische Zerstörung der Schwellen in ihrer Gesamtwirkung, dann wird selbst ein Vergleich zwischen einer Direktion im Flachland und einer Direktion im Mittelgebirge keine bedeutenden Unterschiede ergeben. Im Flach-

land werden die Schwellen durch die Einflüsse 3 und 4 wenig, durch 5 bis 7 aber stark beansprucht: umgekehrt ist das in Gebirgstrecken: es findet dadurch ein Ausgleich statt. Nur bei ganz besonderen Verhältnissen — z. B. starkem Rosten von Stahlschwellen wegen Verunreinigung der Atmosphäre durch Industrieanlagen (Ruhrgebiet), starkem Abfall von Holzschwellen wegen Pilzschäden (Ostpreußen) — entstehen deutliche Unterschiede.

In allen Fällen wirken zwei Gruppen von Häufigkeitserscheinungen, Fäulnis (1 bis 3) und mechanische Zerstörung (4 bis 7) zusammen. Die resultierende Ausbaulinie ist der Gaußschen Häufigkeitslinie sehr ähnlich, wenn die Grundkurven Gaußsche Häufigkeitslinien sind, wie Abb. 6 und 6a

entsteht so die schraffierte wulstartige Fläche (über Abb. 6 gezeichnet), die auf  $S_{15}$  aufzulegen ist und eine der Häufigkeitskurve ähnliche Kurve mit  $L_m = \sim 14.4$  Jahren erzeugt. Die gleiche Resultierende  $S_{14,4}$  entsteht, wenn nach Abb. 6a sich  $S_{20}$  auf die Fäulnis und  $S_{15}$  auf die mechanische Beanspruchung bezieht. Dann ist aber die Überlagerung der  $S_{20}$ -Linie (schraffiert) außerordentlich stark. Werden nach einem Abgang von z. B. 25% der Schwellen die restlichen 75% aus den Hauptgleisen herausgenommen und in Nebengleise mit so geringer Belastung wiederverlegt, daß sich  $L_m$  der auf mechanische Zerstörungen bezogenen Ausbaulinien um fünf Jahre verlängert, dann zieht sich die resultierende Ausbaulinie an diese flachere S-Linie heran ( $S_{25}$  in Abb. 6 und  $S_{20}$  in Abb. 6a).

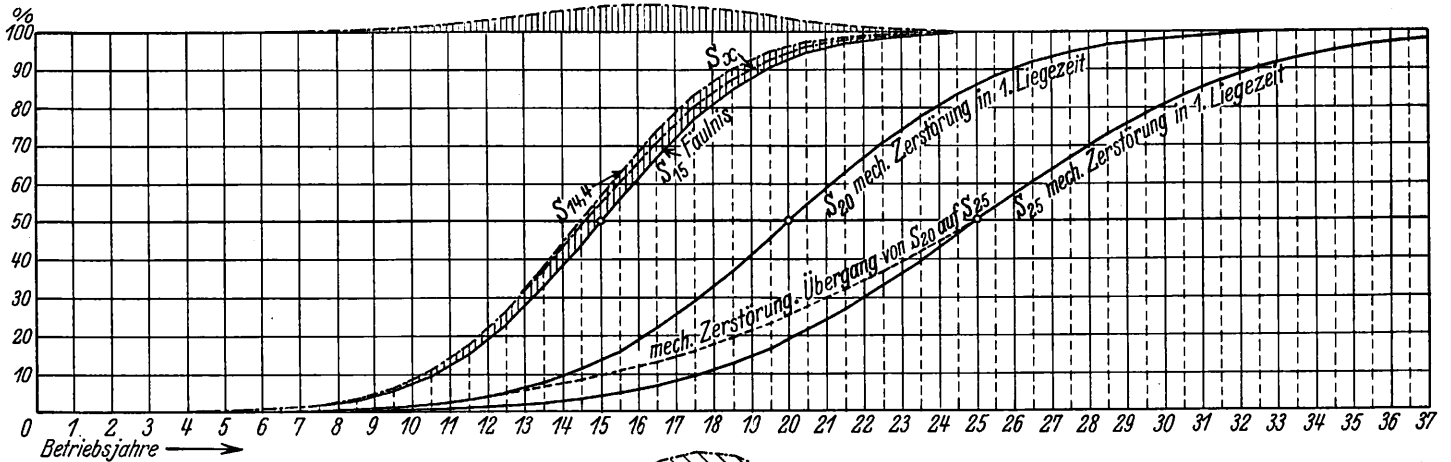


Abb. 6.

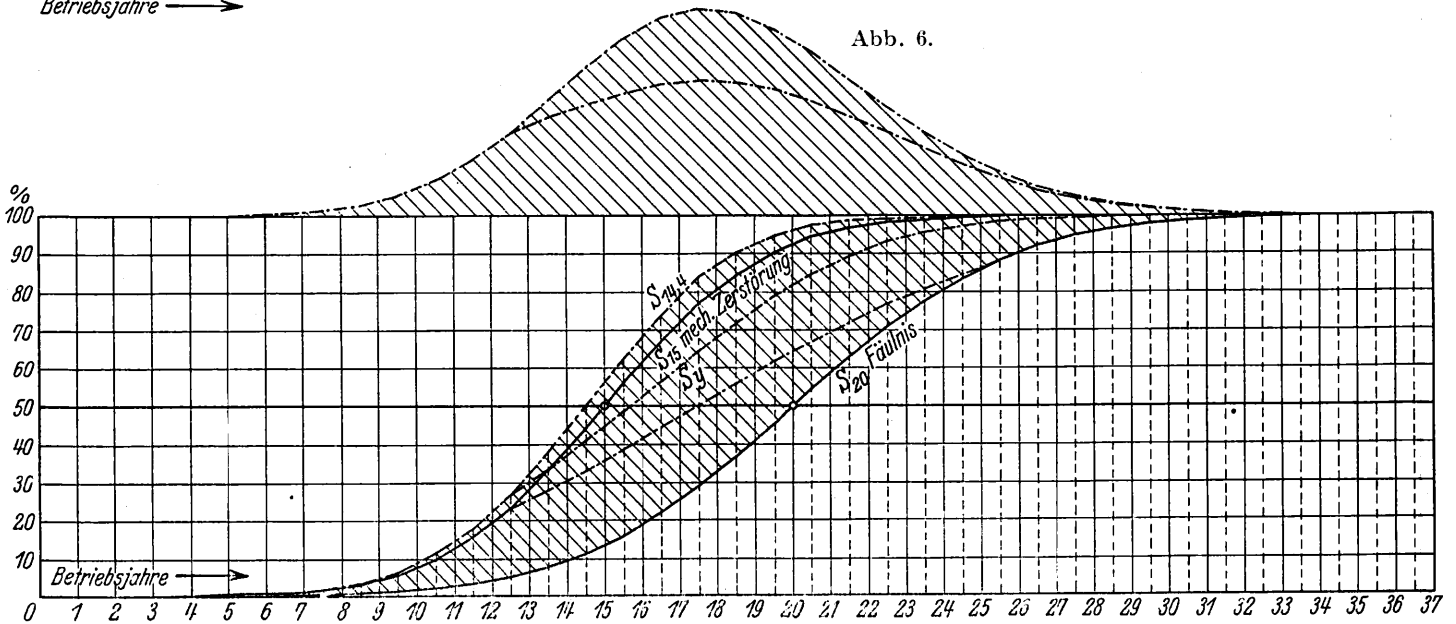


Abb. 6a.

zeigen. Die S-Linie mit  $L_m = 15$  Jahren ( $S_{15}$ ) soll beispielsweise nach Abb. 6 die Ausbaulinie der Schwellen eines Gleises darstellen, das nicht befahren, aber normal unterhalten wird, also lediglich der Fäulnis ausgesetzt ist.  $S_{20}$  soll sich auf Schwellen beziehen, die — gedacht — keinerlei Fäulnis ausgesetzt, aber normal beansprucht sind, also lediglich durch mechanische Zerstörung ausbaureif werden. Sind beispielsweise 20% der Schwellen — nach zwölf Jahren — durch Fäulnis unbrauchbar geworden, dann wirkt nur noch auf 80% der Gesamtmenge die mechanische Zerstörung. Die Ordinate für  $S_{20}$  bei zwölf Jahren muß also um 20% gekürzt werden, wenn das Zusammenwirken beider Zerstörungserscheinungen betrachtet wird. Sind 50% von  $S_{15}$  — bei 15 Jahren — ausgebaut, dann muß die Ordinate für  $S_{20}$  im 15. Jahre halbiert werden. Es

Den Beweis hierfür gibt die badische Schwellenstatistik, die später noch besprochen wird. In Abb. 6 verflacht sich hierdurch die resultierende Ausbaulinie  $S_{14,4}$  nur sehr wenig (gestrichelte Eintragung  $S_x$ ), in Abb. 6a dagegen sehr stark ( $S_y$ ). Abb. 6 veranschaulicht das Verhalten eines neuzeitlichen Oberbaues auf Holzschwellen. Die Befestigungsmittel sind so gut ausgebildet, daß die Einwirkung der mechanischen Zerstörung auf die Ausbaureife stark zurücktritt, also die Fäulnis beherrschend ist. Abb. 6a gibt ein typisches Beispiel für das Verhalten älterer Oberbauarten auf Holzschwellen, bei denen zu kleine oder überhaupt keine Unterlagsplatten mit mangelhaften Befestigungsmitteln verwendet wurden und daher die mechanische Zerstörung ganz überwiegend die Ausbaureife bestimmte. Das Beispiel gilt auch für zu schwache Eisen-

schwelen (z. B. badische 75 mm und 60 mm hohe Schwellen). Läßt nach dem Umbau die bis dahin beherrschende mechanische Beanspruchung so nach, daß Fäulnis oder Rost die bestimmenden Faktoren werden, dann muß sich die Ausbaulinie vom Umbaujahr ab bedeutend verflachen.

Tatsächlich wird die Ausbaulinie zur Umbauzeit noch stärkere Veränderungen erfahren, als die Darstellung in Abb. 6 und 6a angibt. Die Unterhaltungsarbeiten werden in der Regel ein bis zwei Jahre vor dem Umbau auf das Notwendigste beschränkt. Das bewirkt eine Verflachung der Ausbaulinie. Im Umbaujahr steigt sie dann entsprechend stärker an, ja sogar über die gesetzmäßige Linie hinaus, weil auch die nur wenige Jahre noch gebrauchsfähigen Schwellen ausfallen. In den ersten Jahren nach dem Umbau fehlen diese Schwellen wiederum bei den Abgängen, was die Ausbaulinie verflacht. Es entstehen dadurch Stufen, die sich aber bei der Mittelung aus vielen Linien gegenseitig ausgleichen. Nur wenn die Umbauzeiten sich bei allen Linien auf wenige Jahre zusammendrängen, wie das z. B. bei der planmäßigen Gleiswirtschaft der Reichsbahn der Fall sein kann, werden leichte Schwankungen in der resultierenden Ausbaulinie bestehen bleiben. Solche Unregelmäßigkeiten erschweren sehr das Auffinden der Gesetzmäßigkeit, sie lassen aber doch Schlußfolgerungen zu, wenn man die Ursachen erkannt hat.

Entgleisungen (8) sind keine reinen Häufigkeitserscheinungen. Sie verteilen sich — wenigstens in den ersten Jahren nach dem Verlegen der Schwellen — in einem großen Beobachtungsfeld gleichmäßig auf alle Jahre. Die S-Linie, die hieraus entsteht, ist — für sich allein betrachtet — eine vom 0-Punkt ab sehr flach ansteigende Gerade, die sich später aber etwas nach oben krümmen wird, weil die Entgleisungsgefahr mit dem sich allmählich verschlechternden Zustand des Gleises wächst und damit in gewissem Maße von Häufigkeitserscheinungen beeinflußt wird. Als Teil der S-Linie betrachtet, entsteht eine nach dem Ende zu flacher werdende Linie, weil die Bezugsmenge ständig abnimmt. Der Anteil der Abfälle infolge Zufälligkeiten (Entgleisungen) ist jedoch so gering, daß die resultierende Ausbaulinie kaum meßbar über die gesetzmäßige Kurve angehoben wird. Nur in den ersten Jahren wird diese Abfallursache (jährlicher Anteil unter 0.01%) sichtbar.

Große Hochwasserkatastrophen können, wenn sie viele neuverlegte Gleise treffen, u. U. deutliche Abweichungen am Linienanfang und auch später bewirken; nimmt man aber in die Statistik einen entsprechenden Vermerk auf, so daß sie ausgeschaltet werden können, dann stören sie die Auffindung der gesetzmäßigen Ausbaulinie nicht.

Unregelmäßigkeiten, die durch Konjunkturschwankungen (9) in die Ausbaulinie hineinkommen, gleichen sich aus, wenn nicht nur viele Linien des gleichen Jahrgangs, sondern viele Linien verschiedener, mindestens zehn aufeinander folgender Jahrgänge gemittelt werden. Nur wenn ein wirtschaftlicher Tiefstand mehrere Jahre lang anhält und ungewöhnlich starke Wirkung hat (z. B. Kriegszeit und heutiger wirtschaftlicher Tiefstand), bleibt auch bei der Mittelung vieler Jahrgänge eine Schwankung in der Durchschnittslinie bestehen.

Man sieht, daß die verschiedenartigsten Einflüsse an der Ausbaulinie zerrn und ziehen und ihre Form verändern. Sie können einzelne, auf geringe Mengen bezogene, vielleicht einer besonders günstig oder besonders ungünstig angelegten Bahnlinie entstammende Ausbaulinien so verflachen oder ver-

steilen, daß sie aus der Masse der auf gleichartige Schwellen bezogenen Ausbaulinien ganz herausfallen. Trotzdem halte ich es für richtig, auch solche „Ausreißer“ in die Durchschnittslinie einzubeziehen, es sei denn, daß ganz ungewöhnliche Verhältnisse als Ursache der Unstetigkeit erkannt sind. Die Eisenbahnverwaltungen wollen ja durch die Auswertung der Statistik erfahren, welche Lebensdauer die Schwellen durchschnittlich im gesamten Gleisnetz erreichen. Es kann unmöglich für jede Bahnlinie ein eigener, auf die besonderen Verhältnisse abgestimmter Oberbau entwickelt und eingeführt werden: zweckmäßig werden drei oder höchstens vier Arten (Eisen, Weichholz, Hartholz und Tunnel) durchgebildet, die allen Verhältnissen Rechnung tragen. Das schließt nicht aus, daß die Ursachen für regelmäßig wiederkehrende Unstetigkeiten von Ausbaulinien einiger Bezirke aufgeklärt und durch geeignete Maßnahmen (z. B. Hartholz statt Weichholz, Eisen statt Holz, Holz statt Eisen oder Kupferzusatz zum Stahl, Wahl anderer Schotterarten) beseitigt werden. Darin liegt ja der besondere Wert der Statistik, daß sie unwirtschaftliche Anlagen auffinden hilft. Aus solchen Untersuchungen lassen sich auch Anhaltspunkte über den Anteil der einzelnen Zer-

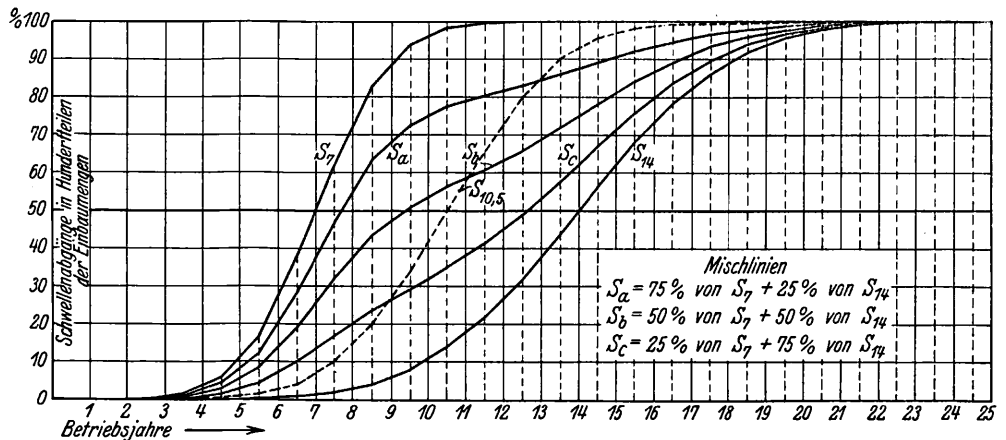


Abb. 7.

störungsursachen gewinnen, während die Statistik nur die Wirkung aller Faktoren zusammen erkennen läßt.

Es ist sonach nicht nur zulässig, sondern sogar wünschenswert, aus Büscheln von S-Linien die Resultierende zu bilden, auch wenn eine gewisse Streuung besteht. Sie ist tatsächlich auch, wie sich später zeigen wird, bei einigermaßen gleichartigen und gleichbehandelten Schwellen großer Zahl gar nicht bedeutend (in der Nähe von  $L_m$  etwa  $\pm 5\%$ ). Schon bei drei je ein Jahr auseinanderliegenden Einzellinien, z. B.  $L_{15}$ ,  $L_{16}$  und  $L_{17}$  mit Streuung  $\pm 6,25\%$  ist die Abweichung der Resultierenden von der mittleren Linie  $L_{16}$  sehr gering. Liegen aber viele Linien im Kern des Streuungsfeldes, dann wird die Resultierende durch die Randlinien kaum noch merkbar verformt. Stehen nur wenige Einzellinien für das Suchen nach der Gesetzmäßigkeit zur Verfügung, dann muß das Streuungsfeld tunlichst schmal gehalten werden und zwar um so schmaler, je kürzer  $L_m$  ist. Abb. 7 zeigt, daß das Mittel  $S_b$  aus zwei gleich starken Ausbaulinien  $S_7$  und  $S_{14}$  (durch Zusammenzählen der Abfälle beider Linien = Mittelung in senkrechter Richtung entstanden) von der punktiert eingetragenen gesetzmäßigen Linie  $S_{10,5}$  (= waagrecht aus  $S_7$  und  $S_{14}$  gemittelt) stark abweicht. Sie liegt bis rund 60% Gesamtabfall über  $S_{10,5}$  und von 60% ab unter  $S_{10,5}$ . Liefen im Kern des Streuungsfeldes (Nähe von  $S_{10,5}$ ) mehrere gleich starke Linien, dann würde die Abweichung wohl kleiner sein, aber den Einfluß der beiden Randlinien doch erkennen lassen.  $S_7$  und  $S_{14}$  gehören offensichtlich nicht zusammen; es wäre daher falsch, so weit streuende Linien ( $\pm 33\frac{1}{3}\%$ ) zu

einem Büschel zu vereinen. Bezieht sich  $S_7$  auf eine Schwellenzahl, die 75% der Gesamtmenge  $S_7 + S_{14}$  ausmacht, dann entsteht  $S_a$ ; das Mittel von  $\frac{1}{4} S_7$  und  $\frac{3}{4} S_{14}$  ist  $S_c$ . Die resultierenden  $S_a$ ,  $S_b$  und  $S_c$  haben ganz unregelmäßige Gestalt und kennzeichnen sich dadurch deutlich als „Mischlinien“, wie ich sie nennen möchte. Sie kommen in der Statistik wiederholt vor, beispielsweise bei Zusammenfassung von roher Fichte und roher Kiefer oder roher Kiefer und roher Eiche. Solche Mischlinien muß man von vornherein von der Untersuchung über den gesetzmäßigen Verlauf ausschließen. Mit wachsender Lebensdauer nehmen die äußeren Kennzeichen der Mischlinien an Deutlichkeit ab; man muß daher bei Büscheln mit großer  $L_m$  schärfer auf ihr Vorhandensein achten. Freilich ist dann auch der Einfluß der Mischlinien auf die Verformung der Resultierenden geringer.

Es dürfen aber auch nicht alle Linien gleicher Stoffart zusammengenommen werden. Geben sie sehr verschiedene  $L_m$ , dann haben sie offensichtlich unter sehr verschiedenen Bedingungen gelegen. Beispielsweise kann die eine Linie sich auf rohe Kieferschwellen mit guten Unterlagsplatten und Befestigungsmitteln in einer schwachbelasteten Strecke mit wenig Krümmungen, eine andere Linie auf rohe Kieferschwellen ohne Unterlagsplatten in starkbelasteter, krümmungsreicher Strecke beziehen. Der große Unterschied im mechanischen Angriff, der sich bei kurzlebigen (rohen) Schwellen besonders deutlich auswirkt, ist Grund genug, die beiden Linien in getrennte Büschel zu verweisen. Leider bringt das Schrifttum nur in den seltensten Fällen Angaben über Oberbauart, Belastung und Anlageverhältnisse. Man ist daher darauf angewiesen, die Büscheleinteilung rein nach der äußeren Gestalt der Einzellinien vorzunehmen.

Da viele Linien, die sich auf gleichartige Stoffe beziehen, ganz verschiedene  $L_m$  erreichten, leuchtet ein, daß auch Linien vorkommen können, die in sich Verschiedenheiten bergen und daher unregelmäßig verlaufen. Das kann gar nicht ausbleiben, wenn beispielsweise ein Teil der Schwellen (Stoßschwellen im geraden Gleis und ein Teil der Mittelschwellen in Krümmungen) Unterlagsplatten erhält, die übrigen aber nicht. Es ist daher notwendig, für die Erforschung der Gesetzmäßigkeit vorwiegend sorgfältig geführte Statistiken zu verwenden, die sich auf große Schwellenmengen aus vielen Jahrgängen beziehen und möglichst einer einzigen Verwaltung entstammen. Erfreulicherweise bieten die Jahresberichte der kgl. Sächsischen Staatsbahnen eine solche Statistik, wie man sie sich schöner kaum denken kann. Daß sie von Dr. Moll und anderen Forschern nicht verwendet wurde, ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die Sächsische Staatsbahn im Fachschrifttum nicht darauf aufmerksam machte. Nur an einer Stelle wurde eine Mittellinie aus fünf Millionen Schwellen der Sächsischen Staatsbahn erwähnt. Sie ist aber nur bis zu 42% Gesamtabfall geführt; auch fehlen Angaben über die Art der Mittelung und die Breite der Streuungsfelder. Deshalb wird im folgenden diese Mittellinie nicht berücksichtigt, zumal sie zum größten Teil aus den Einzellinien entstanden sein muß, die nachstehend besprochen werden.

Im folgenden werden stets nur S-Linien dargestellt, weil in den A-Linien auch kleine Unregelmäßigkeiten so stark hervortreten, daß das Urteil über den Formcharakter (Mischlinie, Linie mit statistischen Fehlern oder dergl.) zu sehr erschwert wird.

#### IV. Statistische Unterlagen.

##### A. Holzschwellen.

##### 1. Statistik der Sächsischen Staatsbahn und Teilstatistik der Bayerischen Staatsbahn.

Die Sächsische Staatsbahn hat von 1873 an über die in ihrem gesamten Verwaltungsbezirk ausgebauten Schwellen,

geordnet nach Jahrgängen, genau Buch geführt und die Ergebnisse der Zählung — umgerechnet auf Procente der Einbaumengen — in den bis 1919 herausgegebenen „Jahresberichten der Sächsischen Staats- und Privatbahnen“ veröffentlicht. Da sämtliche Bahnstrecken, nicht etwa nur einzelne ausgewählte Linien, statistisch erfaßt wurden, geben die Tabellen lückenlose Durchschnittsbilder eines großen Beobachtungsfeldes wieder und sind daher für die Erforschung der Gesetzmäßigkeit hervorragend geeignet. Vom Jahre 1890 an sind am Schlusse jedes Jahrgangs Schwellen aufgeführt, deren Jahresnägel verlorengegangen waren. Es ist nicht angegeben, wie die Zugehörigkeit dieser Schwellen zu den einzelnen Jahrgängen ermittelt wurde; die Angabe in auf zwei Dezimalen genauen Prozenten läßt aber darauf schließen, daß sie durch Zählen der noch im Gleise liegenden Schwellen und Vergleich mit den Zahlen der eingebauten und als ausgebaut gemeldeten Schwellen bestimmt wurden. Trifft das zu, dann ist die sächsische Schwellenstatistik als die vollkommenste und sorgfältigste zu bezeichnen, die je geführt wurde. Es ist bemerkenswert, daß auch die Badische Staatsbahn derartige Kontrollzählungen vorgenommen und teilweise erhebliche Unterschiede zu den Meldungen über den Ausbau festgestellt hat.

Leider ist der Schwellenausbau in der sächsischen Statistik fast bei allen Jahrgängen nur bis zum 20. Betriebsjahr verfolgt. Sicher wird daher durch sie nur der Verlauf des unteren Astes der Ausbaulinie aufgeklärt.

In Abb. 1, Taf. 8 sind die Summen-Ausbaulinien für die Jahrgänge 1873 bis 1911 der sächsischen Statistik eingetragen, die 50%-Linie wird vom Jahrgang 1873 bei 14,9 Jahren geschnitten. Die in einem Büschel liegenden Jahrgänge 1874 bis 1885 und 1888 (mit Gruppe IVb bezeichnet) haben zwischen 15,6 und 17,3 Jahren einen Abfall von 50% erlitten, die Jahrgänge 1886/87 und 1889/95 (Gruppe V) zwischen 18,6 und 20,2 Jahren und die folgenden Jahrgänge (Gruppe VI) zwischen 20,8 und 22 Jahren. Es ist also eine stets zunehmende Verflachung der Ausbaulinien, d. h. allmähliches Anwachsen der mittleren Lebensdauer  $L_m$  festzustellen. Die Verflachung nimmt aber nicht gleichmäßig von Jahr zu Jahr zu; es verlaufen öfter die Ausbaulinien bei späteren Jahrgängen flacher als bei früheren. Besonders auffallend ist Jahrgang 1888. Er weist einen Abfall von 50% 1,5 bis 2 Jahre früher auf als die ihm benachbarten Jahrgänge 1885, 1886, 1889 und 1890. Solche Unterschiede sind nur durch verschiedenartige Anlage und Belastung zu erklären. Wahrscheinlich waren die Schwellen des Jahrgangs 1888 überwiegend in starkbelasteten und kurvenreichen Strecken, die der benachbarten Jahrgänge in schwächer belasteten Flachlandstrecken verlegt. Da aus einem großen Bezirk ein Durchschnittsbild gewonnen werden soll, wird durch solche Beispiele bestätigt, daß die Mittelung aus Büscheln, die alle möglichen Anlageverhältnisse umfassen, nicht nur statthaft, sondern sogar nötig ist. Im übrigen kreuzen sich die Linien innerhalb der Büschel — wie die in Abb. 1, Tafel 8 oben links eingetragene Reihenfolge verdeutlicht — mehrfach und zeigen dadurch, daß sie zusammengehören und gemeinsam untersucht werden müssen.

Die wilde Reihenfolge der Jahrgänge innerhalb der Büschel ändert aber nichts an der Tatsache, daß die mittlere Ausbaulinie von 1886/95 flacher verläuft als die von 1874/85, und 1897/1911 noch flacher. Das kann erstens auf Verbesserung in der Tränkung zurückzuführen sein. Von 1869 bis 1881 wurden die Schwellen mit Zinkchloridlauge von 3<sup>o</sup> Beaumé, ab 1882 bis 1895 mit Zinkchloridlauge von 2,3<sup>o</sup> Beaumé getränkt. Der Wechsel in den Beaumé-Graden kommt in den Ausbaulinien nicht zum Ausdruck, er scheint also auch nicht die spätere Verflachung veranlaßt zu haben. Möglich ist, daß im Laufe der Jahre die Einrichtungen der Tränkanstalten



verbessert wurden, die Geschicklichkeit der Arbeiter zunahm und die Tränkung gleichmäßiger gelang. Das findet aber in den Ausbaulinien nicht in allmählicher Verflachung Ausdruck, sondern durch Fortfall von Unregelmäßigkeiten. Sehr ungleiche Tränkung bewirkt Verformung der Ausbaulinien zu „Mischlinien“, als welche beispielsweise die Ausbaulinien der Jahrgänge 1873 und 1874 anzusprechen sind. Bei Linie 1874 ließ die bis zum zehnten Betriebsjahr reichende Beule — durch zu hohen Anteil kurzlebiger Schwellen erzeugt — eben noch die Einfügung in Gruppe IVb zu, Linie 1873 mußte dagegen wegen der zu starken Beule und auch wegen des Herausfallens aus dem Büschel ausgeschieden werden. Daß bei den Jahrgängen nach 1874 keine oder nur schwache Beulen zu bemerken sind, läßt vermuten, daß es nach fünfjähriger Erfahrung gelang (1869 bis 1874), die Tränkung ziemlich gleichmäßig zu halten.

Wie ist dann aber die spätere Verflachung der Linien zu erklären? Sie kann zweitens durch Verbesserungen am Oberbau entstanden sein. Die Schienen wurden im Laufe der Jahre immer mehr verlängert und dadurch die Zahl der Stöße verringert. Die Unterlagsplatten, die anfänglich nur in Kurven und auf Stoßschwellen des geraden Gleises vorgesehen waren, wurden immer zahlreicher und schließlich sämtliche Schwellen damit ausgerüstet. Ferner sind die Unterlagsplatten mehrmals vergrößert und in der Bauart verbessert worden\*). Gleichzeitig stiegen aber auch die Fahrgeschwindigkeiten und die Achslasten. Es ist daher unwahrscheinlich, daß bedeutender Rückgang der mechanischen Beanspruchung die allmähliche Verflachung der Ausbaulinien bewirkte. Das muß vielmehr auf Maßnahmen zurückzuführen sein, die den Fortgang der Fäulnis hemmten. Es bleibt so nur die dritte, durchaus einleuchtende Erklärung übrig, daß die Verflachung der Ausbaulinien von 1874 bis 1896 überwiegend durch Verbesserung der Gleispflege und der Bettung entstand.

Der flachere Verlauf der Gruppe VI im Vergleich zu Gruppe V ist durch Änderung in der Tränkung zu erklären. Von 1896 ab wurde die Tränkung mit Zinkchloridlauge von 2,3<sup>0</sup> Beaumé durch Zusatz von 2 kg Teeröl je Schwelle verbessert (erstmalig 1897 verlegt). Bettungsverbesserung kann hier auch etwas mitgewirkt haben, der überwiegende Einfluß der besseren Tränkart geht aber aus dem Abstand zwischen den Linien 1894/96 und 1897 ff. deutlich hervor.

Gruppe IVb. 3744005 getränkte Kieferschwellen (Zinkchloridlauge von 3<sup>0</sup> und 2,3<sup>0</sup> Beaumé). Die Jahrgänge 1874 und 1875 sind bis zum 15. und 14. Betriebsjahr, alle übrigen elf Jahrgänge bis zum 20. Betriebsjahr statistisch verfolgt. Um die mittlere Ausbaulinie bis zum 20. Betriebsjahr bilden zu können, wurden die Jahrgänge 1874 und 1875 nach Schätzung unter Anlehnung an benachbarte Linien bis zu diesem Zeitpunkt verlängert. Der Fehler, der hierdurch entstanden sein könnte, ist so gering, daß er das Ergebnis nicht in Frage stellt. Selbst Irrtümer von  $\pm 10\%$  bei allen Ergänzungsjahren beider Linien würden die Mittellinie am Ende nur um Bruchteile von 1% verändern. Die mittlere S-Linie ist auf folgende Weise entstanden: Es wurden die Anteile der 13 Jahrgänge an der Gesamtschwellenzahl der Gruppe IVb (= 1 gesetzt) bestimmt, hiermit die zugehörigen Prozentzahlen der Einzel-S-Linien multipliziert und für jedes

\*) Merkwürdig ist, daß die nur teilweise Verwendung von Unterlagsplatten in den Formen der Ausbaulinien 1875 bis 1882 nicht zum Ausdruck kommt; man könnte Mischliniencharakter erwarten. Erklärlich ist das nur dadurch, daß entweder die anfänglich sehr schmalen Unterlagsplatten im Vergleich zu den über die ganze Schwellenbreite aufliegenden Schienen die Auflageflächen kaum vergrößerten, also den mechanischen Angriff nur wenig hemmten, oder daß die Unterlagsplatten derartig geschickt verteilt waren, daß die mechanische Beanspruchung bei allen Schwellen ziemlich gleichartig wurde.

Betriebsjahr die Quersummen gebildet, z. B.: 12. Betriebsjahr:  $27.66 \times 0.1026 + 20.50 \times 0.1063 + \text{usw.} = 21.14\%$  (vergl. Zahlentafel 2. Gruppe IVb). Zeichnerisch ist die mittlere S-Linie der Gruppe IVb, die nach 20.5 Jahren mit 78.73% abschließt, in Abb. 4, Tafel 8, gestrichelt wiedergegeben.

Einige Worte seien noch der Ausbaulinie des Jahrgangs 1882 gewidmet, die bis zum 15. Jahre im Kern der Gruppe IVb verläuft, dann aber steil herausspringt, um anschließend in der alten Richtung weiterzulaufen. Leider ließ sich nicht mehr der Grund für dieses bei keiner anderen der 39 Linien vorkommende „Ausreißen“ feststellen. Vielleicht ist dieser Jahrgang von einer der zahlreichen Hochwasserkatastrophen des westlichen Erzgebirges oder von einer Pilzkrankheit besonders stark betroffen worden: jedenfalls wird es sich hier um außergewöhnliche Ereignisse handeln. Weil aber Jahrgang 1882 mit 171019 Schwellen der schwächste aller Jahrgänge ist, besteht die schwache Möglichkeit, daß Zufälligkeiten in der Unterhaltung (etwa Abbruch einer Linie und Verkauf eines großen Teils der Schwellen als Bauschwellen) die starke Unregelmäßigkeit verursachten. Deshalb ist Jahrgang 1882 unverändert zur Mittelung mit herangezogen worden. Er drückt — eben wegen der geringen Menge — die Mittellinie vom 15. zum 16. Jahr nur wenig hoch, verändert also das Bild nicht mehr als sonstige Zufälligkeiten, so daß er die Auffindung des gesetzmäßigen Verlaufs nicht sonderlich erschwert.

Gruppe V. 3709425 getränkte Kieferschwellen (Zinkchloridlauge von 2,3<sup>0</sup> Beaumé). Alle zehn Jahrgänge sind bis zum 20. Betriebsjahr, drei davon sogar einige Jahre weiter statistisch verfolgt. Die Mittelung (Zahlentafel 3) läßt sich also ohne irgendwelche Änderungen oder Ergänzungen bis zu diesem Jahr durchführen. Es lassen sich sogar Anhaltspunkte über den mutmaßlichen weiteren Verlauf durch Anhängen des Mittels aus den drei überschießenden Linien gewinnen. Es wird die mittlere Steigung der drei Linien 1894 bis 1896 von Jahr zu Jahr unter Bezugnahme auf ihre Einbaumenge bestimmt und hierdurch die S-Linie der ganzen Gruppe V über das 20. Betriebsjahr hinaus verlängert. Die Art der Berechnung wird unter Gruppe VI geschildert. Naturgemäß ist diese Verlängerung nicht dem Hauptteil als gleichwertig zu erachten, weil hier mehr Zufälligkeiten zum Ausdruck kommen. Immerhin gibt die Fortführung, die sich auf gut 38% der Gesamteinbaumenge stützt, leidlich zuverlässig die Richtung des weiteren Verlaufs der Ausbaulinie an und hat daher ihren Wert für die Erforschung der Gesetzmäßigkeit. Die in Abb. 4, Tafel 8 bildlich wiedergegebene S-Linie V erreicht nach 20,5 Jahren 56.26% und nach 24,5 Jahren (in der Verlängerung) 80.35% Abgang.

Gruppe VI. 5256622 sächsische getränkte Kieferschwellen (Zinkchloridlauge von 2,3<sup>0</sup> Beaumé + 2 kg Teeröl) und 101721 bayerische getränkte Föhrenschwellen (davon 32520 mit Chlorzink und 69201 mit Chlorzink und Teerölzusatz getränkt). Da die sächsische Statistik — leider — im Jahr 1919 abgebrochen wurde, ist keine größere Gruppe vorhanden, die bis zum gleichen Betriebsjahr führt. Jahrgang 1897 endet mit 22,5 Jahren, die folgenden Jahrgänge enden je ein Jahr früher, z. B. 1911 mit 8,5 Jahren. Man könnte nun Untergruppen bilden, die im gleichen Jahr enden, z. B. 1897 bis 1900, 1901 bis 1904 usw. Damit werden aber die Mengen zu klein und den Zufälligkeiten zu starke Einflüsse überlassen. Bezieht sich der Anfang der Mittellinie auf eine große Schwellenzahl und wächst aus dieser starken Linie eine immer schwächer werdende heraus, dann läßt sich zwar  $L_m$  nicht völlig genau bestimmen, der gesetzmäßige Verlauf wird aber sicherer aufgedeckt, als wenn schwächere Untergruppen gebildet werden.

Es liegt auf der Hand, daß eine so gemittelte Linie nicht die Zuverlässigkeit einer Mittellinie besitzt, die aus gleich

## Zahlen-

Bezeichnung	Gruppe I							Gruppe II							
	Österr. K. F. Nordb.	Österr. Süd- Nord- Verb.- Bahn	Sächs.- Westl. Staats- bahn	Dän. Kalle- have Baner	Oppeln- Tarnow	Altona- Kiel	Mittlere S-Linie	Sechs deut- sche Bahnen	Schlesw. Bahn	Leipzig- Dresden	Sächs.- Westl. Staats- bahn	Tilsit- Inster- burg Bahn	Salzb.- Tiroler Bahn	Mittlere S-Linie Gruppe II	
Holzart*)	K. r.	F. r.	F. r.	K. r.	K. r.	F. g.	Gruppe I	K. r.	K. r.	K. r.	K. r.	K. r.	L. r.		
Einbaujahr	1872	1858	1858	—	1856	1852	—	—	1854	1856	—	1864	—		
Eingebaut Stek.	55 274	233 640	26 720	10 000	79 200	3 899	408 733	880 000	146 800	93 543	120 834	68 291	335 500	1 644 968	
Anteil an der Gesamtmenge	13,52%	57,16%	6,54%	2,45%	19,38%	0,95%	100,00%	53,50%	8,92%	5,69%	7,35%	4,15%	20,39%	100,00%	
Betriebsjahre	1—3	8,43	11,2	2,0	6,0	1,0	9,0	—	—	—	—	—	—	—	
	4	14,30	22,0	6,9	16,0	4,0	16,28	9,0	—	4,00	2,2	—	—	5,25	
	5	45,01	40,6	24,9	34,0	16,6	24,0	35,20	13,0	2,0	11,72	4,5	1,16	2,0	8,59
	6	67,29	62,4	66,5	49,0	37,5	33,0	57,90	29,0	8,2	23,11	11,8	4,02	5,9	19,80
	7	79,44	81,3	100,0	59,0	58,0	50,0	76,91	37,0	27,0	35,86	22,0	14,20	15,9	26,69
	8	87,42	94,6		67,0	77,0	73,0	89,69	54,0	51,5	47,16	39,0	32,02	27,9	46,05
	9	96,67	100,0		77,0	84,9	84,0	95,91	67,0	62,5	61,50	60,0	44,70	41,9	59,73
	10	98,19			89,0	91,9	91,0	97,83	82,0	75,5	73,70	84,0	55,82	57,9	75,09
	11	99,84			94,0	98,9	95,0	99,57	93,0	80,0	86,40	100,0	68,08	72,0	86,66
	12	99,86			(96,0)	100,0	98,0	99,86	100,0	86,5	100,00		78,52	81,0	94,03
	13	100,00			(98,0)		100,0	99,95		90,7			82,77	(88,0)	96,01
	14				(100,0)			100,00		94,1			91,95	(93,0)	97,71
	15									96,8			97,00	(96,0)	98,77
	16									99,0			100,00	(98,0)	99,50
	17									100,0				(99,0)	99,80
	18													(99,5)	99,90
	19													(99,8)	99,96
	20													(100,0)	100,00

\*) K. r. Kiefer roh, K. g. Kiefer getränkt  
F. r. Fichte „ „ F. g. Fichte „  
L. r. Lärche „ „ L. g. Lärche „  
E. r. Eiche „ „ E. g. Eiche „  
B. r. Buche „ „ B. g. Buche „

## Zahlen-

Bezeichnung	Gruppe IVa											Mittlere S-Linie Gruppe IVa	
	K. K. Österr. Staatsb.	Lübeck- Büchener Bahn	Österr. Kaiser- Franz-Ferdinand- Nordbahn	Berlin- Potsdam- Magdeburg	K. K. Österr. Staatsb.	Hessische Nord- bahn	Altona- Kiel	Berlin- Potsdam	Öster. K. F. Nordb.	Hanno- versche Bahn			
Holzart*)	L. g.	K. g.	K. g.	E. g.	K. g.	K. g.	E. r.	E. r.	E. r.	E. g.	E. r.		
Einbaujahr	—	1851	1869	1870	1850	—	—	1843	1846	1870	1845		
Eingebaut Stek.	14 840	60 000	131 360	608 095	36 640	491 400	192 000	167 000	180 204	218 099	565 261	2 664 899	
Anteil an der Gesamtmenge	0,56%	2,25%	4,93%	22,82%	1,38%	18,44%	7,20%	6,27%	6,76%	8,18%	21,21%	100,00% (41,581%)	
Betriebsjahre	1—2	—	—	—	—	—	—	(0,3)	—	—	—	—	0,02
	3	—	—	0,02	0,01	—	—	(0,8)	—	—	0,01	—	0,04
	4	—	—	0,11	0,04	—	—	(1,8)	—	—	0,03	—	0,15
	5	0,5	—	0,41	0,21	0,93	0,5	(3,8)	0,06	—	0,04	0,61	0,59
	6	1,0	—	1,19	0,45	1,97	1,0	(6,3)	0,19	0,34	0,21	1,19	1,14
	7	3,0	—	2,92	1,00	2,94	3,0	8,8	0,33	1,81	0,41	3,88	2,62
	8	5,0	1,0	4,97	2,78	4,73	5,5	10,5	1,13	3,46	1,26	6,04	4,45
	9	9,0	2,5	7,19	5,77	7,98	10,0	12,8	3,84	5,35	4,14	10,48	7,82
	10	14,0	5,8	11,63	9,75	12,11	15,5	16,1	6,71	8,12	7,11	14,92	11,91
	11	21,5	19,0	17,35	14,96	17,47	21,5	21,4	10,38	11,49	12,23	19,92	17,22
	12	30,0	30,6	26,48	21,03	23,99	28,0	28,2	16,64	15,63	19,12	26,09	23,68
	13	40,0	40,6	34,98	28,64	31,14	34,5	33,0	23,32	24,28	25,18	31,61	30,43
	14	51,0	49,0	44,69	40,08	38,50	40,5	39,8	38,27	30,89	31,46	34,33	37,95
	15	62,0	57,0	51,88	51,52	50,20	47,5	47,6	46,83	41,69	37,87	35,91	45,29
	16	(71,0)	66,0	59,17	57,71	66,20	55,5	54,6	55,29	50,01	43,41	43,51	52,67
	17	(79,0)	69,0	66,94	67,85	(74,00)	59,5	62,0	64,87	60,43	51,10	49,93	60,15
	18	(85,0)	(76,0)	70,56	(74,00)	(80,00)	65,0	70,5	74,16	66,60	57,81	60,77	67,49
	19	(90,0)	(82,0)	74,08	(80,00)	(85,00)	(73,0)	77,0	83,13	73,40	59,56	72,42	74,84
	20	(94,0)	(87,0)	77,30	(86,00)	(90,00)	(80,0)	81,7	91,57	75,40	62,12	77,32	80,12
	21			84,07				88,5	93,35			79,33	

tafel 1.

Gruppe III											Betriebsjahre
K. K. Österr. Staatsbahn			Österr. K. F. Nordbahn	K. K. Österr. Staatsbahn					Köln-Mindener Bahn	Mittlere S-Linie Gruppe III	
E. r.	L. g.	K. g.	E. r.	L. g.	K. g.	L. g.	K. g.	K. g.	r.		
—	1876	1876	1865	1870	1874	—	—	1875	1845	3 636 482	
115 790	14 050	22 300	466 949	1 587 000	58 200	976 735	19 450	35 900	340 108	100,00%	
3,18%	0,39%	0,61%	12,84%	43,64%	1,60%	26,86%	0,54%	0,99%	9,35%	100,00%	
—	0,03	0,01	0,02	0,44	—	—	—	0,01	—	0,19	1—3
0,5	0,08	0,08	0,13	1,33	0,1	—	—	0,12	—	0,62	4
1,5	0,34	0,19	0,59	3,08	0,5	0,5	0,5	0,75	0,29	1,65	5
3,0	3,99	3,11	1,29	5,20	2,5	2,0	2,0	1,79	1,88	3,35	6
7,0	9,48	6,92	3,91	8,18	5,3	5,0	5,0	3,70	6,11	6,44	7
13,0	20,00	11,63	8,32	12,71	11,0	9,5	9,0	10,43	11,27	11,11	8
23,0	24,39	18,10	15,37	19,63	17,7	17,0	14,0	17,36	16,36	18,10	9
34,0	32,12	27,05	24,74	25,72	26,3	26,0	18,5	25,63	20,29	25,43	10
44,0	43,66	36,84	34,67	34,40	34,5	34,0	27,0	32,29	26,34	33,87	11
56,0	52,22	49,88	44,96	43,32	46,0	43,0	38,5	42,01	38,97	43,52	12
68,0	64,80	57,33	55,68	55,26	53,2	52,0	52,0	48,83	46,06	53,92	13
80,0	72,94	64,49	65,77	63,40	61,6	62,0	65,0	58,36	52,73	62,83	14
89,0			74,53			73,0	75,0	66,29	63,13		15
95,0			81,08				84,0	72,72	71,39		16
98,0			86,08				91,0		80,64		17
100,0			90,35				96,0		99,09		18
			93 27				99,0				19
			96,69				100,0				20

tafel 2.

Gruppe IVb													Betriebsjahre		
Sächsische Staatsbahn											Mittlere S-Linie Gruppe IV b	Mittlere S-Linie Gruppe IV			
Kiefer mit Zinkchloridlauge 3° Beaumé getränkt							Kiefer mit Zinkchloridlauge 2,3° Beaumé getränkt								
1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1888			
384 188	397 947	508 563	405 553	316 133	241 384	248 116	197 986	171 019	227 458	173 407	178 296	293 955	3 744 005	6 408 904	
10,26%	10,63%	13,58%	10,83%	8,44%	6,45%	6,63%	5,29%	4,57%	6,08%	4,63%	4,76%	7,85%	100,00% (58,419%)	100,00%	
0,12	0,06	0,02	0,22	0,02	0,02	0,01	—	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,05	0,04	1—2
0,45	0,12	0,17	0,29	0,12	0,10	0,02	0,02	0,02	0,07	0,05	0,04	0,03	0,14	0,11	3
0,78	0,30	0,41	0,40	0,27	0,21	0,11	0,09	0,09	0,19	0,10	0,15	0,14	0,30	0,24	4
1,42	0,83	0,97	0,52	0,42	0,33	0,24	0,32	0,34	0,42	0,54	0,54	0,33	0,63	0,61	5
3,48	1,53	1,93	0,88	0,74	0,64	0,70	0,76	0,77	0,94	1,45	1,52	0,64	1,35	1,26	6
5,69	2,58	3,41	1,47	1,42	1,60	1,54	1,66	1,95	3,27	2,97	3,38	1,38	2,59	2,60	7
8,51	4,45	4,79	2,84	2,92	2,79	2,93	3,72	4,33	5,95	5,91	5,46	2,59	4,42	4,43	8
11,94	6,63	7,40	4,97	4,76	4,85	5,69	6,39	7,68	10,55	9,01	7,46	4,96	7,06	7,38	9
15,79	10,15	11,30	7,86	7,77	8,60	9,21	10,86	13,23	14,57	12,10	10,60	7,59	10,63	11,16	10
21,10	14,63	15,09	11,85	11,90	13,83	14,59	16,49	18,55	18,61	16,53	14,88	12,46	15,22	16,05	11
27,66	20,50	20,80	17,63	17,25	20,75	20,58	22,37	23,38	25,01	22,15	20,38	18,60	21,14	22,20	12
34,50	27,66	27,29	23,71	24,21	29,25	26,40	27,91	29,29	32,60	27,83	26,97	24,09	27,69	28,83	13
41,52	36,62	34,87	30,93	33,48	38,03	32,16	33,54	37,07	39,49	36,37	36,56	31,15	35,39	36,45	14
49,50	45,53	43,51	40,51	43,20	47,10	37,77	40,05	44,95	48,70	45,30	46,05	37,40	43,76	44,40	15
57,47	(53,00)	53,21	48,19	50,61	54,36	45,94	47,33	65,68	55,57	52,99	53,44	43,97	52,13	52,35	16
(65,00)	(60,00)	61,87	54,08	57,66	61,51	52,92	56,70	75,27	63,00	60,18	60,50	50,91	59,58	59,82	17
(71,00)	(66,50)	67,80	59,70	65,22	68,73	61,64	65,02	84,58	69,04	66,33	65,75	57,58	66,27	66,78	18
(78,00)	(72,50)	74,15	65,07	72,36	76,92	69,31	72,55	91,84	75,04	72,09	71,11	64,81	72,90	73,71	19
(84,00)	(78,00)	79,34	69,70	79,82	83,66	75,10	78,58	98,26	80,07	77,82	76,85	71,51	78,73	79,31	20
															21

Zahlentafel 3.

Bezeichnung	Gruppe V										Mittlere S-Linie Gruppe V					
	Sächsische Staatsbahn															
	Kiefernschwelle mit Zinkchloridlauge 2,3° Beaumé															
Einbaujahr	1886	1887	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896						
Eingebaut Stek.	270 690	288 041	329 249	453 755	360 228	500 497	496 868	332 347	357 251	320 425	3 709 425					
Anteil an der Gesamtmenge	7,30%	7,77%	8,88%	12,23%	9,71%	13,49%	13,39%	8,96%	9,63%	8,64%	100%					
											A-Linie	S-Linie				
Betriebsjahre	1—3	0,04	0,05	0,05	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,15	0,04	0,04	0,04			
	4	0,11	0,10	0,15	0,07	0,06	0,03	0,06	0,05	0,17	0,15	0,05	0,09			
	5	0,44	0,32	0,29	0,22	0,19	0,13	0,12	0,10	0,41	0,24	0,14	0,23			
	6	0,97	0,61	1,08	0,50	0,45	0,29	0,32	0,39	0,64	0,49	0,31	0,54			
	7	1,66	1,05	1,70	0,94	1,03	0,73	0,84	0,83	1,04	0,68	0,47	1,01			
	8	2,55	1,88	3,07	2,00	2,36	1,77	1,52	1,43	1,42	1,34	0,89	1,90			
	9	3,94	2,62	4,48	3,79	4,69	3,13	2,82	2,12	2,52	2,21	1,33	3,23			
	10	6,16	4,75	7,51	6,80	6,64	4,91	4,25	3,43	3,72	4,36	2,01	5,24			
	11	9,20	8,19	11,72	10,53	9,88	6,61	6,41	4,93	6,05	6,89	2,73	7,97			
	12	13,13	13,23	15,90	14,50	12,81	9,50	9,02	8,40	9,28	10,75	3,51	11,48			
	13	18,59	19,80	20,99	17,89	16,67	13,47	13,30	12,21	13,06	13,59	4,21	15,69			
	14	25,57	25,46	25,12	24,13	21,59	18,14	19,11	16,32	17,13	17,86	5,09	20,78			
	15	32,66	31,88	31,32	30,04	28,71	25,15	24,82	21,83	22,28	22,55	6,09	26,87			
	16	38,92	37,05	36,07	36,51	35,24	30,94	30,72	27,26	27,59	28,55	5,79	32,66			
	17	43,73	41,53	41,81	42,33	40,86	35,64	36,24	33,50	34,66	35,02	5,64	38,30			
	18	49,29	46,72	48,25	47,82	46,15	41,19	41,37	39,41	41,74	41,95	5,81	44,11			
	19	55,66	52,40	54,07	52,89	51,65	46,40	46,24	46,57	49,81	50,17	6,06	50,17			
	20	64,13	58,02	59,29	57,25	57,12	52,29	51,96	54,03	57,33	56,50	6,09	56,26			
	21								—	—	52,71%	7,19	47,29%	5,65	6,45	62,71
	22								—	—	52,71%	4,88	47,29%	7,51	6,12	68,83
	23								32,90%	5,39	35,37%	6,07	31,73%	6,81	6,08	74,91
	24								48,19%	5,28	51,81%	5,59	—	—	5,44	80,35

lang verfolgten Einzellinien gebildet ist. Dem Zweifler muß sogar der Einwand zugestanden werden, daß die Gestalt der Linien durch diese Mittelungsart mehr verändert werden kann, als für die Auffindung der Gesetzmäßigkeit tragbar ist. Deshalb gilt es zunächst, an Hand statistisch über längeren Zeitraum verfolgter Linien die Auswirkung früheren Abbruchs einzelner Jahrgänge aufzuklären. Die Gruppen IVb und V, deren Einzellinien bis zum 20. Betriebsjahr statistisch verfolgt sind, gewähren ein völlig zuverlässiges Prüfungsfeld. Die Einzellinien der Gruppe IVb sind in verschiedenen Reihenfolgen nach 8, 9, 10 usw. bis 20 Betriebsjahre abgebrochen und jeweils die Mittellinien IVb 1 bis IVb 4 gebildet worden. Bis zum achten Betriebsjahr sind alle vier Mittellinien der 13 Jahrgänge unter sich und der wirklichen Mittellinie IVb gleich. Für das neunte Betriebsjahr ist der Zuwachs nur aus zwölf Jahrgängen ermittelt, für das zehnte Betriebsjahr aus elf Jahrgängen usw. Man muß bei der Berechnung von den A-Linien ausgehen und deren Werte mit den von Jahr zu Jahr wachsenden Anteilzahlen multiplizieren. Erklärungen bietet Zahlentafel 4. Gruppe VI.

Nach Abb. 3b, Tafel 8, weichen die Mittellinien IVb<sub>1</sub> bis IVb<sub>4</sub> nur wenig von der wirklichen Mittellinie IVb ab: sie verlaufen wohl etwas unregelmäßiger, im Charakter aber gleichartig. Ebenso verhalten sich die Mittellinien V<sub>1</sub> bis V<sub>4</sub>. Man kann sonach kein Bedenken tragen, eine auf diese Weise gemittelte Ausbaulinie zum Aufsuchen des gesetzmäßigen Verlaufs mit heranzuziehen.

Betrachtet man die Einzellinien der Gruppe VI, dann stellt man fest, daß jeder Jahrgang anfänglich im Büschel läuft, in den letzten zwei bis drei Jahren aber etwas aus der Gruppe herauspringt. Diese merkwürdige Erscheinung ist

nur auf diese eine Gruppe beschränkt: es muß also ein besonderer Grund dafür vorliegen. Ordnet man die Linien nach Kalenderjahren ein, dann stellt man fest, daß das Abirren in den Jahren 1915 bis 1917 einsetzt. Der Mangel an Arbeitskräften zwang in den Kriegsjahren dazu, die Gleisunterhaltung auf das Äußerste einzuschränken. Viele Schwellen, die in normalen Zeiten ausgebaut worden wären, mußten über die Grenze der Betriebssicherheit hinaus liegen bleiben. Dadurch ist es erklärlich, daß die Ausbaumengen in den Kriegsjahren fast bei jedem Jahrgang abfielen. In der Nachkriegszeit wurden die Rückstände zwar nachgeholt, so daß die Ausbaulinien sich ihrem ursprünglichen Verlauf wieder nähern müssen. Dieser Ausgleich fehlt aber in den Linien der Gruppe VI, weil die Sächsische Staatsbahn nach dem Kriege ihre Schwellenstatistik abbrach. In der Mittellinie machen sich die außergewöhnlichen Verhältnisse durch eine schwache Ausbeulung nach unten von 20% Abgang an bemerkbar. Da die Ursache der Unregelmäßigkeit erkannt ist, muß man sie bei dem Aufsuchen der gesetzmäßigen Linie in Rechnung stellen. Wäre die sächsische Statistik bis 1930 weitergeführt worden, dann würde die Ausbeulung weniger bemerkbar geworden, aber doch nicht ganz verschwunden sein, weil viele zeitlich benachbarte Linien von den lange anhaltenden Unregelmäßigkeiten betroffen wurden.

Die Schwellenstatistik der Bayerischen Staatsbahn bezieht sich nicht auf ihren ganzen Bereich, sondern nur auf einige ausgewählte Strecken. 32520 der statistisch verfolgten Schwellen sind mit Chlorzink getränkt und davon 24136 Stück verdübelt; 69201 Schwellen sind mit Chlorzink und Teerölzusatz getränkt und davon 37173 Stück verdübelt. Die vier Durchschnittslinien bilden ein Büschel etwa von der Breite der Gruppe VI. Sie ließen sich daher zusammenfassen, so daß

ihre starken Unregelmäßigkeiten etwas ausgeglichen wurden. So glatt wie die Einzellinien der sächsischen Statistik verläuft die bayerische Ausbaulinie aber doch nicht, was in dem stärkeren Einfluß der Zufälligkeiten bei der wesentlich geringeren Beobachtungsmenge begründet ist.

Die mittlere Ausbaulinie der bayerischen 101721 Schwellen fällt mit den Jahrgängen 1896 bis 1911 der sächsischen Statistik gut zusammen und wurde deshalb der Gruppe VI eingereiht. Deren Mittellinie ist nach Zahlentafel 4 berechnet und in Abb. 4, Tafel 8, zeichnerisch wiedergegeben; sie endet nach 22,5 Jahren mit 55,11% Gesamtabgang.

## 2. Sonstige verwertbare Statistiken.

Die Beobachtungsmenge der Gruppen IVb, V und VI — 12811773 Schwellen — ist so groß, daß sie allein schon für die Auffindung des gesetzmäßigen Verlaufs der Ausbaulinien als ausreichend anzusprechen ist. Die drei Mittellinien liegen jedoch noch verhältnismäßig eng zusammen —  $L_{50}$  bei 16,3 Jahren, 19,4 Jahren und 21,6 Jahren —: sie allein geben daher noch nicht Aufschluß darüber, ob die aus ihnen gefundene Gesetzmäßigkeit auch für wesentlich steilere oder flachere Ausbaulinien gilt. Zudem reicht die längste der drei Mittellinien IVb, V und VI — wie bereits erwähnt — nur bis etwa 80% Gesamtabgang, so daß durch sie der Verlauf des oberen Astes der S-Linien noch nicht aufgeklärt wird. Es wurde deshalb versucht, auch die anderen, im Fachschrifttum und in der Sammlung von Dr. Moll aufgefundenen Ausbaulinien in die Betrachtungen einzubeziehen. Von vornherein mußten Linien ausgeschaltet werden, bei denen die Einbaumengen nicht angegeben waren, und auch Statistiken, die nur in Abständen von mehreren Jahren die Abgänge verzeichneten. Auch Statistiken, die nur über wenige Jahre geführt waren, fielen aus, weil in erster Linie erstrebt wurde, den Verlauf des oberen Astes der S-Linien aufzuklären. Alle übrigen Ausbaulinien wurden aufgetragen. Ihr Verlauf ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, viel unregelmäßiger als bei der sächsischen Statistik, was überwiegend auf die geringeren Beobachtungsmengen zurückzuführen ist. Die meisten Linien ließen sich leicht zu Büscheln zusammenfassen — Gruppen I, II, III und IVa —; einige wenige Linien fügten sich dem Rahmen aber nicht ein; sie mußten daher aus der Betrachtung ausgeschlossen werden. Nähere Erläuterungen werden im folgenden Abschnitt gegeben.

Die in Abb. 2, Tafel 8, eingetragenen, zu Gruppen I, II, III und IVa zusammengefaßten Ausbaulinien umfassen:

260360	rohe Fichtenschwellen
3899	getränkte Fichtenschwellen
1453942	rohe Kiefernenschwellen
855250	getränkte Kiefernenschwellen
335500	rohe Lärchenschwellen
2592625	getränkte Lärchenschwellen
2027312	rohe Eichenschwellen
826194	getränkte Eichenschwellen

Zusammen 8355082 rohe und getränkte Schwellen.

In den Gruppen I und II sind fast alle Ausbaulinien bis zum Abgang der gesamten Einbaumenge verfolgt. Die wenigen, nicht bis 100% geführten Linien wurden nach Schätzung unter Anlehnung an benachbarte Linien ergänzt, was in den Zahlentafeln durch Einklammern der Zahlen und in Abb. 2, Tafel 8, durch gestrichelte Linien kenntlich gemacht ist. Etwaige Irrtümer in der Ergänzung haben so geringen Einfluß, daß die Zuverlässigkeit des Schlußergebnisses nicht in Frage gestellt werden kann. Das in Abschnitt IV A 1 für Gruppe VI angewendete Verfahren läßt sich in dem Bereich über 80% Abgang anwenden, weil man dann nicht genau auf 100% Abgang kommt. Das liegt in der Natur des Näherungsverfahrens. Die Ergänzung ist über 80% das kleinere Übel.

Es seien noch einige auffallende Unregelmäßigkeiten in den Einzellinien der Gruppen I bis IVb besprochen.

Während die meisten Linien im oberen Ast umbiegen, laufen die Linien 26720 Fr\*) in Gruppe I, 120834 Kr\*), 880000 Kr\*) und 93543 Kr\*) in Gruppe II zwischen 50% und 100% fast geradlinig. Offensichtlich liegen hier statistische Fehler vor. Man hat wahrscheinlich die Abgänge der Ersatzschwellen, die in ständig zunehmender Zahl nötig werden, mitgezählt. Ein Teil der Ersatzschwellen, die den gleichen Gesetzen unterliegen, wie die ursprünglich eingelegten Schwellen, wird verfault sein, ehe die längstlebigen Schwellen der Ursprungsmenge ausgebaut sind. Zählt man nun diese Abgänge mit, dann entsteht eine steile Linie. Dieser Fehler kann leicht unterlaufen, wenn die Schwellen nicht mit Jahreszeichen versehen sind. Denkbar wäre auch, daß durch Umbau im Zusammenhange Schwellen mit ausgebaut und mitgezählt wurden, die tatsächlich noch mehrere Jahre hätten liegen können (Bauschwellen); bei der Kürze der Liegezeit ist das aber unwahrscheinlich. Weil nun nicht festzustellen ist, ob wirklich ein Fehler in der Statistik vorliegt, wurden die vier genannten Linien unverändert gelassen. Sie bewirken ein Hochdrücken der Mittellinien I und II zwischen 80 und 98% Abgang, also lediglich eine Unstetigkeit, die das Auffinden des gesetzmäßigen Verlaufs nicht sonderlich erschwert.

Bemerkenswert glatten Verlauf nimmt Linie 55274 Kr in Gruppe I; um so mehr fällt eine Unregelmäßigkeit am Ende auf. Die Linie biegt so um, als wolle sie bei 98,38% Abgang enden (über drei Jahre fast waagerechter Verlauf), um dann plötzlich auf 100% zu steigen (vergl. Eintragung in Abb. 2, Tafel 8, Gruppe I). Es ist hier mit Sicherheit anzunehmen, daß die Meldungen über die ausgebauten Schwellen kleine Fehler (im Mittel 1,62%) enthalten. Wie schon erwähnt wurde, sind solche Fehlmengen auch bei sehr sorgfältig geführten Statistiken gar nicht zu vermeiden. Der Statistiker kann nur die Schwellen erfassen, die nach dem Ausbau abgeliefert werden, aber nicht die von Brennholzinteressenten nächtlich „eingesammelten“ Altschwellen. Bei großen Mengen sind natürlich auch Zählfehler denkbar. Bei der Deutschen Reichspost ist es beispielsweise vorgekommen, daß mehr Telegraphenstangen als Abgang gemeldet wurden, als eingebaut waren. Die nicht gemeldeten Schwellen dürfen aber, wenn ihr Fehlen bei Kontrollzählungen der noch im Gleise liegenden Schwellen festgestellt wird, nicht am Ende in einer Summe zugezählt werden, sondern sie müssen auf die vorausgehenden Jahre verteilt werden. Das ist bei der Linie 55274 Kr geschehen und in Zahlentafel 1, Gruppe I berücksichtigt. Die Korrektur ist so geringfügig, daß der Unterschied in Abb. 4, Tafel 8, zeichnerisch kaum sichtbar wiedergegeben werden könnte. Er tritt aber in einer später zu beschreibenden Darstellungsart sehr deutlich hervor. Das gab auch die Veranlassung, die Änderung überhaupt vorzunehmen und so eingehend zu begründen.

Fast bei allen S-Linie der Gruppen I und II sind die Abgangsprozente zwischen 90 und 100 in merkwürdig runden Zahlen angegeben. Man muß daher mit der Möglichkeit rechnen, daß der Abschluß nach Schätzung erfolgte, weil man entweder etwas rascher zum Ziel kommen wollte oder vielleicht auch kein anderes Mittel fand, aufgefundenen Fehlmengen auszugleichen.

Eine ähnliche Erscheinung wie in Linie 55274 Kr findet man in der Linie 340108 Er in Gruppe III. Sie steigt nach leidlich ausgeglichenem Verlauf im 18. Betriebsjahr von 80,6% auf 99,1% Abgang, während nach dem vorausgehenden Verlauf und Vergleich mit anderen Linien eine höchstens halb so steile Steigung zu erwarten gewesen wäre. Die Unregelmäßigkeit kann auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein. Entweder ist das Gleis im 18. Betriebsjahr im Zusammen-

\*) Fr = Fichte roh, Kr = Kiefer roh.



tafel 4.

Staatsbahn														Bayr. Staatsb.		Gesamt- Bezugsmengen Stück	Mittlere Ausbaulinie Gruppe VI		Betriebsjahre
2.3° Beaumé und 2 kg Teeröl je Schwelle														K. g.			A-Linie %	S-Linie %	
1906		1907		1908		1909		1910		1911		1897/99—1908							
Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	Anteil %	A-Linie %	101721					
7,30	0,04	7,18	0,02	6,29	0,01	6,29	0,01	5,25	0,01	6,15	0,01	1,90	—	5 358 343	0,02	0,02	1—3		
7,30	0,01	7,18	0,01	6,29	0,02	6,29	—	5 25	0,01	6,15	0,01	1,90	0,05	5 358 343	0,03	0,05	4		
7,30	0,01	7,18	0,05	6,29	0,02	6,29	0,02	5,25	0,03	6,15	0,02	1,90	0,07	5 358 343	0,05	0,10	5		
7,30	0,07	7,18	0,14	6,29	0,14	6,29	0,11	5,25	0,02	6,15	0,05	1,90	0,41	5 358 343	0,15	0,25	6		
7,30	0,16	7,18	0,37	6,29	0,14	6,29	0,07	5,25	0,08	6,15	0,13	1,90	1,11	5 358 343	0,27	0,52	7		
7,30	0,48	7,18	0,38	6,29	0,15	6,29	0,23	5,25	0,28	6,15	0,20	1,90	1,10	5 358 343	0,47	0,99	8		
7,78	0,58	7,65	0,43	6,71	0,31	6,70	0,71	5,59	0,71			2,02	1,38	5 028 699	0,85	1,84	9		
8,24	0,64	8,11	0,37	7,10	0,85	7,10	0,94					2,14	2,23	4 747 750	1,08	2,92	10		
8,87	0,89	8,70	1,14	7,64	1,49		2,09%		1,14%			2,31	1,66	4 410 856	1,63	4,55	11		
9,60	1,41	9,45	1,63									2,50	0,88	4 073 698	2,10	6,65	12		
10,61	2,05		4,54%		3,15%							2,76	2,54	3 688 804	2,88	9,53	13		
	6,34%											3,08	3,85	3 294 538	3,51	13,04	14		
												3,39	1,44	2 999 488	3,93	16,97	15		
												3,70	2,03	2 748 726	3,98	20,95	16		
												4,20	2,03	2 420 344	4,49	25,44	17		
												4,98	5,13	2 041 565	4,89	30,33	18		
												6,23	7,14	1 610 616*)	5,82	36,15	19		
												8,32	6,53	1 187 900*)	6,07	42,22	20		
												11,48	8,73	830 696*)	6,89	49,11	21		
												23,08	3,35	408 235*)	6,00	55,11	22		

\*) Bezugsmengen der bayerischen Ausbaulinien werden ab 19. Betriebsjahr ebenfalls etwas geringer.

tafel 5.

Staatsbahn								Gruppe VIIa				Betriebsjahre
ohne Tunnelschwellen								Badische Staatsbahn				
1911	1912	1913	1914	Einzel- abgang Stück	Bezugs- menge Stück	Abgang in %		Einzel- abgang Stück	Bezugs- menge Stück	Abgang in %		
84 282	155 459	64 876	21 549			A-Linie	S-Linie			A-Linie	S-Linie	
17	35	92	—	301	2 481 276	0,01	0,01	2 086	2 527 563	0,08	0,08	1—5
—	42	—	—	181	2 481 276	0,01	0,02	1 599	2 527 563	0,07	0,15	6
37	54	—	—	258	2 481 276	0,01	0,03	2 217	2 527 563	0,08	0,23	7
—	2	2	2	234	2 481 276	0,01	0,04	3 174	2 527 563	0,13	0,36	8
85	16	164	86	720	2 481 276	0,03	0,07	3 775	2 527 563	0,15	0,51	9
32	118	72	74	1 122	2 481 276	0,04	0,11	4 484	2 527 563	0,18	0,69	10
359	41	36	3	808	2 481 276	0,03	0,14	4 366	2 527 563	0,17	0,86	11
92	228	425	112	2 224	2 481 276	0,09	0,23	4 833	2 527 563	0,19	1,05	12
61	456	397	346	2 927	2 481 276	0,12	0,35	5 075	2 527 563	0,20	1,25	13
166	488	475		3 633	2 459 727	0,15	0,50	6 303	2 506 014	0,25	1,50	14
177	187			4 661	2 394 851	0,20	0,70	7 228	2 441 124	0,30	1,80	15
122				8 490	2 239 392	0,38	1,08	12 417	2 285 662	0,54	2,34	16
				6 804	2 155 110	0,31	1,39	7 692	2 201 380	0,35	2,69	17
				19 459	2 017 662	0,96	2,35	20 703	2 063 932	1,00	3,69	18
				19 171	1 960 359	0,98	3,33	21 989	2 006 627	1,10	4,79	19
				19 168	1 749 533	1,10	4,43	20 126	1 795 258	1,12	5,91	20
				18 749	1 548 954	1,21	5,64	22 285	1 594 576	1,40	7,31	21
				18 528	1 365 004	1,36	7,00	21 345	1 409 604	1,51	8,82	22
				10 493	1 189 870	0,88	7,88	11 705	1 234 344	0,95	9,77	23
				27 833	994 483	2,80	10,68	28 520	1 038 295	2,75	12,52	24
				14 422	875 065	1,65	11,33	14 451	917 938	1,57	14,09	25
				13 193	579 034	2,28	14,61	13 193	618 879	2,13	16,22	26
				10 586	426 390	2,48	17,09	10 586	464 741	2,28	18,50	27

hang umgebaut worden, wobei die voraussichtlich noch für ein bis vier Jahre gebrauchsfähigen Schwellen zu den unbrauchbaren gerechnet wurden, oder es hat eine Kontrollzählung stattgefunden, die große Fehlmengen aufdeckte. Im ersten Fall müßte eine Korrektur der Linie vorgenommen werden, die sie vom 17. Jahr ab allmählich an 100% herauführt; im zweiten Fall müßte die Fehlmenge auf die rückwärtigen Jahre nach Errechnung des mittleren Fehlers verteilt werden. Es ist als wahrscheinlich anzusprechen, daß nach 18 Betriebsjahren ein Umbau des Gleises stattgefunden hat, weil nach so langer Liegezeit schon starker Verschleiß auch an den Schienen und Befestigungsmitteln eingetreten oder der Verkehr so angewachsen sein kann, daß ein schwererer Oberbau eingelegt werden mußte. Vielleicht hat hierbei auch eine Kontrollzählung der noch im Gleise liegenden Schwellen der Urmengen stattgefunden und Fehlmenngen aufgedeckt. Es läßt sich aber kein Anhaltspunkt über die Größe des Fehlers finden und daher auch keine begründete Korrektur vornehmen. Eine solche Korrektur hätte auch im vorliegenden Fall kaum praktischen Wert. Weil nur wenige Linien der Gruppe III bis zu 100% Abgang verfolgt sind, läßt sich auch die Durchschnittslinie nicht bis an das Ende führen. Deren Krümmungscharakter verändert sich aber bis zu rund 70% nicht, wenn an einigen Linien Korrekturen durch Verteilung der Fehlmenngen vorgenommen werden. Nur wenn die mittlere Lebensdauer einer bestimmten Gruppe festgestellt oder ihr gesetzmäßiger Verlauf bis zu 100% aufgeklärt werden soll, ist es nötig, Fehlmenngen festzustellen und den Verlauf der Ausbaulinien zu berichtigen.

Fast alle Einzellinien besitzen an irgendeiner Stelle starke Unregelmäßigkeiten. Beispielsweise verläuft die Linie 565261 Er in Gruppe IVa bis zum 13. Betriebsjahr sehr glatt, dann werden aber über zwei Jahre die Abgänge ganz gering, um in den folgenden vier Jahren um so größer zu werden und schließlich in der alten Bahn zu verlaufen. Offenbar hat hier zeitweise Geldknappheit — wie in den Kriegsjahren der Mangel an Arbeitskräften — dazu gezwungen, die Gleisunterhaltungsarbeiten auf das Äußerste einzuschränken. Nach Beheben der Geldnot wurden dann die Rückstände aufgeholt. Wollte man nur diese eine Linie zur Auffindung der Gesetzmäßigkeit verwenden, dann müßte man die Beule nach unten als nicht vorhanden betrachten, also durch eine glatte Linie zwischen den Knickpunkten ersetzen. So bedeutende Veränderungen an statistischem Material können aber nicht immer als zulässig angesehen oder unter den Begriff „Auswertung“ gestellt werden. Beschreitet man in einem Falle diesen Weg, dann muß man auch — um logisch zu sein — an anderen Linien alle Unebenheiten ausgleichen. Es besteht dabei die Gefahr, daß man gesetzmäßige Eigentümlichkeiten fälschlich in das umwandelt, was man für gesetzmäßig hält. Der Willkür wird bei solchem Verfahren zu großer Einfluß eingeräumt.

Die Mittellinie von Gruppe IVa läßt im übrigen erkennen, daß das Stehenlassen auch so großer Beulen, wie sie die Linie 565261 Er besitzt, die Auffindung des gesetzmäßigen Verlaufs gar nicht sonderlich erschwert. In einem starken Büschel kommen in der Regel Linien vor, die entgegengesetzt gerichtete Beulen besitzen und so ausgleichend wirken. Hieraus geht aber andererseits hervor, daß nur sehr große Beobachtungsmengen eindeutige Ergebnisse bringen können. Aus diesem Grunde sind die an sich schon starken Mittellinien der Gruppen IVa und IVb, weil sie dicht nebeneinander verlaufen (punktiert in Abb. 4, Tafel 8, wiederum zur Mittellinie IV vereinigt worden, die sich sonach auf 6408904 Schwellen stützt.

### 3. Nicht verwertbare Statistiken.

In Abb. 3a, Tafel 8, sind die Ausbaulinien zeichnerisch wiedergegeben, die sich dem Rahmen der Gruppen I bis VI

schlecht oder gar nicht einfügen. Die österreichische Linie 1385212 Bg liegt im unteren Ast gut in Gruppe II: dann aber springt sie in einem einzigen Jahr von 54% auf 100%. Eine so merkwürdig geformte Linie kehrt in der ganzen Sammlung von über 100 Einzellinien nicht wieder. Hier liegt offenbar ein statistischer Fehler vor. Entweder ist das Gleis im neunten Betriebsjahr im Zusammenhang umgebaut und dabei der noch brauchbare Teil der Schwellen mit als Abgang verbucht worden, oder man benötigte die Ausbaulinie zu irgendwelchen Vergleichen, ehe die Statistik abgeschlossen war, und hat den oberen Ast nach Schätzung ergänzt. Eine ähnliche, nur nicht so krasse Form besitzt die österreichische Linie 615968 Er; sie springt nach ziemlich glattem Verlauf im Kern der Gruppe III im zwölften Betriebsjahr von 41,5 auf 74,7% und endet hier. Der Sprung entstand wahrscheinlich durch Umbau im Zusammenhang und Einrechnung der hierbei entfallenden Bauschwellen. Wäre die Linie weitergeführt worden, dann wäre lediglich eine Zacke entstanden, die aber die Einbeziehung in Gruppe III nicht ausschließt. Nur wegen des Abbruchs gleichzeitig mit der starken Unregelmäßigkeit mußte sie ausgeschieden werden.

Die Schwellen der Linien 1468000 Bg, 1871200 Bg und 32348 Fg sind mit Kupfervitriol getränkt, auf dessen sehr ungleichmäßige Wirkung im Fachschriffturn wiederholt hingewiesen wird. Ein großer Teil der Schwellen wird durch diese Tränkungsart sehr widerstandsfähig gegen Fäulnis, ein anderer beträchtlicher Anteil verhält sich kaum anders als rohe Schwellen. Da statistisch alle Schwellen gemeinsam erfaßt werden, muß die Ausbaulinie eine Gestalt annehmen, wie sie z. B. bei Zusammenfassung verschiedener Holzarten entsteht. Um den Beweis hierfür an einem praktischen Fall zu bieten, ist in Abb. 3a, Tafel 8, die Linie 32910 Fg/Kg eingetragen, die als Mischlinie (Fichte und Kiefer getränkt) im Fachschriffturn angegeben ist. Alle vier Linien zeigen den Charakter der theoretisch abgeleiteten Mischlinie Sb in Abb. 7.

Will der Zweifler den Mischliniencharakter bei Kupfervitrioltränkung nicht anerkennen, dann muß er wenigstens zugestehen, daß nach den vorgefundenen Beispielen die mit Kupfervitriol getränkten Schwellen einer anderen Gesetzmäßigkeit unterliegen als die sonstigen getränkten und die rohen Schwellen der verschiedensten Holzarten, daß sie also getrennt behandelt werden müssen.

Drei Ausbaulinien von zusammen 138300 Schwellen sind in dänischen Fachzeitschriften veröffentlicht worden. Ihr Formcharakter entspricht den Linien Sa und Sb in Abb. 7, kennzeichnet sie also ebenfalls als ausgesprochene Mischlinien. Entweder sind mehrere Holzarten in der gleichen Statistik zusammengefaßt worden, was auch in anderen dänischen Statistiken gefunden wurde, oder es sind die Schienen teilweise auf Unterlagsplatten, teilweise unmittelbar auf den Schwellen verlegt worden, so daß starke Unterschiede in der mechanischen Zerstörung entstanden. Möglicherweise liegen auch statistische Fehler vor.

Von den eng zusammenliegenden sieben Linien in Abb. 3a, Tafel 8, wurde die Mittellinie (IIa) gebildet und in Abb. 4, Tafel 8, gestrichelt eingetragen. Der Mischliniencharakter kommt in diesem Bild besonders deutlich zum Ausdruck, weil durch Linie (IIa) der untere Ast von Linie II mit dem oberen Ast der weitabstehenden Linie III verbunden ist.

Dankenswerterweise hat die Dänische Staatsbahn ihre umfangreiche Schwellenstatistik (1889 bis 1928) für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Die Statistik umfaßt rund 2,5 Millionen Föhren- und Buchenschwellen aus 19 Jahrgängen, die wie die sächsischen Schwellen mit Chlorzink und Teeröl getränkt sind, und rund 4,3 Millionen nach dem Rüpingschen Sparverfahren getränkte Föhren- und Buchenschwellen aus 16 Jahrgängen. Das gab Hoffnung, etwas



über die Wirkung der Rüpung-Tränkung zu erfahren, die — soweit festgestellt werden konnte — von keiner anderen Bahnverwaltung statistisch erfaßt ist, obwohl sie jetzt allgemein angewendet wird. Leider erwiesen sich aber die redlichen Bemühungen, die dänische Statistik für die Erforschung der Gesetzmäßigkeit auszunützen, als erfolglos. In den Zahlentafeln sind außergewöhnlich große Mengen von Schwellen ohne Jahresmarken aufgeführt: es fehlt aber im Gegensatz zur sächsischen Statistik jeder Hinweis, welchen Jahrgängen diese Schwellen schätzungsweise zuzuzählen sind. Der Versuch, die Verteilung der Schwellen durch Zuhilfenahme von Wahrscheinlichkeitsrechnungen vorzunehmen, mußte nach monatelangem Bemühen aufgegeben werden, weil dieses Verfahren der Willkür zuviel Spielraum läßt. Auch Unklarheiten bei den Angaben über Einbaumengen und fehlende Schätzungen der nichtgemeldeten Abgangsschwellen, die nach vorgenommenen Stichproben sehr zahlreich sein müssen, behinderten die Ermittlung von Ausbaulinien, aus denen der gesetzmäßige Verlauf zu gewinnen wäre. Nur ein — wenn auch schwaches — Ergebnis hat die Durcharbeitung der dänischen Schwellenstatistik gebracht: Man darf als ziemlich sicher annehmen, daß die nach dem Rüpingschen Sparverfahren getränkten dänischen Schwellen eine etwa 1,5%

- Dr. Diehl ermittelte die Ausbaulinien von
- D I 2 792 231 Stück 100 mm hohen Eisenschwellen ohne Tunnelschwellen,
  - D Ia 2 838 318 Stück 100 mm hohen Eisenschwellen einschließlich Tunnelschwellen,
  - D II 2 614 307 Stück 75 mm hohen Eisenschwellen einschließlich Tunnelschwellen,
  - D III 1 623 950 Stück 60 mm hohen Eisenschwellen.

Die Ausbaulinie D III, die im 40. Betriebsjahr mit 29,33% Gesamtabgang endet, konnte nicht nach Betriebsjahren geordnet statistisch verfolgt werden. Es wurden vielmehr die ausgebauten Schwellen der elf Jahrgänge 1881 bis 1891 in jedem Jahr der Statistik zusammengezählt und der Beschaffungsschwerpunkt 1887 als Einbaujahr angenommen. Der statistisch erfaßte Teil der Ausbaulinie (24. bis 40. Betriebsjahr von 1887 ab gerechnet) kann hierdurch etwas verformt werden. Diese Ausbaulinie läßt daher keine sicheren Schlüsse hinsichtlich der Gesetzmäßigkeit zu und muß daher außer Betracht bleiben.

Die 75 und 100 mm hohen Schwellen sind dagegen statistisch völlig korrekt erfaßt und eignen sich daher sehr gut für Untersuchungen über den gesetzmäßigen Verlauf. Die in Abb. 8 wiedergegebenen drei Ausbaulinien D I, D Ia

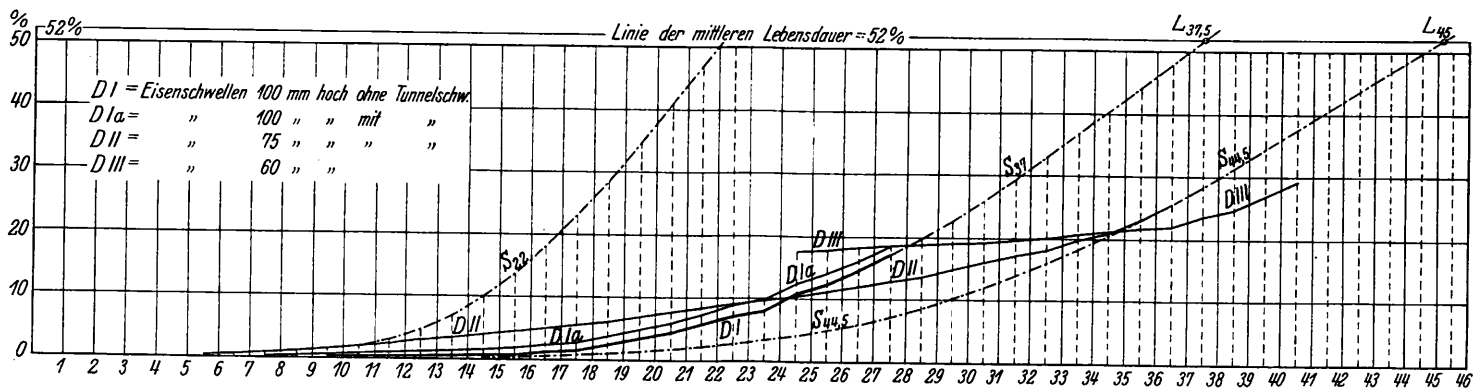


Abb. 8.

längere mittlere Lebensdauer besitzen als die mit Chlorzink und Teeröl getränkten, früher verwendeten Schwellen. Wahrscheinlich ist aber nur ein Teil dieser Verlängerung — schätzungsweise 10% — auf das bessere Tränkverfahren, der andere Teil — 5% — auf Verbesserung der Bettungs- und der Gleispflege, die sich in der sächsischen Statistik so deutlich bemerkbar macht, zurückzuführen. Die Dänische Staatsbahn ist verhältnismäßig spät zur Kleinschlagbettung übergegangen.

### B. Eisenschwellen.

Soweit festgestellt werden konnte, sind nur von einer einzigen Verwaltung Statistiken über den Abfall von Eisenschwellen geführt worden und zwar von der Badischen Staatsbahn. Dr. Diehl, Karlsruhe, hat die Aufschreibungen mit großer Sorgfalt ausgewertet und die Ergebnisse in der Broschüre „Zur Frage der Bewertung von Holz- und Eisenschwellen“, VDI-Verlag 1930 veröffentlicht. Als sehr bedeutungsvoll ist hervorzuheben, daß Dr. Diehl die Meldungen der Dienststellen über den Ausbau von Schwellen nachprüfte und die Ausbaulinien durch Erhöhung der jährlichen Abfälle um die errechnete mittlere Fehlermenge berichtigte. Teilweise wurden durch die Kontrollzählungen recht beachtliche Meldefehler aufgedeckt. Das ist ein Beweis dafür, daß auch bei sehr sorgfältig geführten Statistiken Kontrollzählungen selbst dann nicht entbehrlich sind, wenn auch nur annähernd richtige Ergebnisse angestrebt werden.

und D II unterscheiden sich stark in der Form. Linie D II (75 mm hohe Schwellen) steigt bis zum neunten Betriebsjahr in schwacher Krümmung auf etwa 1,5%, dann fast in gerader Linie auf rund 12% im 26. Betriebsjahr und wiederum in Krümmung auf 25,7% im 36. Betriebsjahr. Die Ausbaulinie D I (100 mm hohe Schwellen ohne Tunnelschwellen) setzt dagegen flacher an, um dann aber — von kleinen Unregelmäßigkeiten abgesehen — in stetiger Krümmung anzusteigen. Sie überschneidet Linie D II im 24. Betriebsjahr und erreicht 17,15% mit 27,5 Betriebsjahren, zu welchem Zeitpunkt Linie D II erst auf 12,85% angekommen ist. Linie D Ia liegt etwas über Linie D I und unterscheidet sich von dieser — auf den ersten Blick — nicht sonderlich im Formcharakter.

Linie D II ist nicht, wie es den Anschein hat, eine Mischlinie nach Abb. 7 S<sub>6</sub>, sondern entspricht der Linie S<sub>7</sub> in Abb. 6a. Die 75 mm hohen Schwellen wurden nach nur sieben- bis neunjähriger Liegezeit in den stärkstbelasteten Gleisen, den jetzigen FD-Strecken (Ordnungsgruppe 1a), ausgebaut und in Gleisen zweiter Ordnung wieder eingelegt, weil der Oberbau der Schnellzugstrecken den Achslasten neuer, schwerer Lokomotiven durch Einbau schwerer Schienen und Schwellen (100 mm hoch) angepaßt werden mußte. Linie D II läßt deutlich die unterschiedlichen mechanischen Beanspruchungen der Schwellen in Gleisen erster und zweiter Ordnung erkennen: während sie anfänglich die Neigung zeigt, einer gesetzmäßigen Linie etwa L<sub>20</sub> bis L<sub>25</sub> zu folgen, zieht sie sich in der zweiten

Liegezeit an eine gesetzmäßige Linie  $L_{45}$  heran. Aus diesem Verlauf darf man zwei wichtige Schlüsse ziehen:

1. Betriebsbelastung und Schwellenform (Länge, Breite, Widerstandsmoment, Befestigungsart) müssen bei Eisenbahnschwellen in sorgfältig abgestimmtem Verhältnis stehen; dieses ist von ausschlaggebender Bedeutung bei Beurteilung der Brauchbarkeit von Eisenschwellen.

2. Sorgfältig geführte Statistiken sind ein vorzügliches Mittel, die Geeignetheit bzw. Wirtschaftlichkeit einer neuen Schwellenform zu prüfen.

Ausbaulinie D I bezieht sich auf Schwellen (100 mm hoch), die vom Anfang bis zum Ende der Statistik unter annähernd gleichartigen Verhältnissen, nämlich ausschließlich in Gleisen erster Ordnung, lagen. Man muß daher annehmen, daß sie — rein statistisch bewertet — gesetzmäßig verläuft: ob das zutrifft, wird der nächste Abschnitt zeigen.

Ausbaulinie D Ia bezieht sich auf die in Ausbaulinie D I enthaltenen Schwellen zuzüglich einer Gruppe von Schwellen, die in Tunneln, also unter wesentlich anderen Bedingungen gelegen haben. Der starke Rostangriff in Tunneln verkürzt die mittlere Lebensdauer der Schwellen beträchtlich; es muß daher bei statistischer Zusammenfassung der normal und der in Tunneln liegenden Schwellen eine Mischlinie entstehen. In Abb. 8 kommt der Mischliniencharakter nicht sehr deutlich zum Ausdruck, weil der Anteil der Tunnelnswellen an der Gesamtmenge nur 1,62% beträgt, wohl aber bei einer später zu zeigenden Darstellungsart.

Dr. Diehl hat die S-Linie der 100 mm hohen Schwellen aus allen Jahrgängen 1894 bis 1927 gebildet; daher nehmen die Bezugsmengen von Anfang an ständig ab. Für die Erforschung des gesetzmäßigen Verlaufs ist es aber wünschenswert, die Ausbaulinie über eine möglichst lange Zeit auf die gleiche Schwellenmenge zu beziehen und aus dieser starken Grundlinie die immer schwächer werdende herauswachsen zu lassen, weil hierdurch die Einflüsse von Zufälligkeiten in den ersten Jahren eingeschränkt werden. Deshalb wurden für die Linien D I und D Ia aus Zahlentafel 15 der Broschüre Dr. Diehls nur die Jahrgänge 1894 bis 1914 herangezogen und als Linien VII und (VIIa) in den Tafeln 8 und 9 eingetragen. Die Bezugsmenge bis zum 13. Betriebsjahr wird hierdurch nur ganz wenig verringert, weil in den Jahren 1915 bis 1917 und 1919 überhaupt keine Schwellen und in den übrigen Jahren nur ganz geringe, für Einzelauswechslungen benötigte Mengen beschafft wurden. Die größte Abweichung der S-Linie VII von der S-Linie D I Dr. Diehls beträgt nur 0,07%. In Zahlentafel 5 ist die S-Linie VII in der Art wiedergegeben, wie sie Dr. Diehl berechnet hat (Stückzahlen statt Prozente bei den Einzellinien). Für die Linie VIIa sind in Zahlentafel 5 nur die Schlußzahlen angegeben.

## V. Erforschung des gesetzmäßigen Verlaufs der Ausbaulinien.

Um einen Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen von Dr. Moll und Mac Lean führen zu können, wurden die Durchschnitts-S-Linien I bis VI in ein Wahrscheinlichkeitsnetz\*) eingetragen. Abb. 1, Tafel 9, zeigt nun, daß die Ausbaulinien nicht, wie erwartet wurde, geradlinig, sondern stetig und in gleichem Sinne gekrümmt verlaufen. Die Nachprüfung ergab, daß diese Krümmung auch an den Einzellinien selbst noch bei größerer Unstetigkeit deutlich zu erkennen ist. Sie kann daher auch nicht als eine Folge der Mittelung aus Büscheln von Einzellinien angesprochen werden. Es bleibt nur die Schlußfolgerung übrig, daß die gesetzmäßige Ausbaulinie von Eisenbahnschwellen nicht der integrierten Gaußschen Wahrscheinlichkeitslinie gleichkommt, sondern ihr nur ähnlich ist. Sie wird durch

\*) Vergl. Abb. 3.

eine Funktion verändert, die zeichnerisch ihren Ausdruck in der Krümmung der in das Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragenen Ausbaulinien I bis VI findet und daher durch die Gleichungen dieser Kurven bestimmt werden kann.

Rechnet man überhaupt mit einer übereinstimmenden Gesetzmäßigkeit für alle Ausbaulinien, dann sollte man annehmen, daß die Gleichungen aller sechs Kurven zu einem gemeinsamen Koordinatensystem gehören würden. Es gelang aber nicht, die Scheitel der sechs Parabeln höherer Ordnung — daß es sich um solche Kurven handelt, stellte sich sehr bald heraus — auch bei nur annähernder Deckung mit den Ausbaulinien in einem Punkte zu vereinigen und erst recht nicht, die Scheitelpunkte auf die O-Linie zu bringen. Dieses Bemühen entsprang der naheliegenden Überlegung, daß die Ausbaulinien im Einbaujahr beginnen müßten. Die Tatsache, daß bei allen noch eben möglichen Veränderungen des Exponenten  $a$  in der allgemeinen Parabelgleichung  $y = Cx^a$  die Scheitel stets vor die O-Linie zu liegen kommen, befreite schließlich von der falschen Vorstellung über die Lage des Ausgangspunktes der Ausbaulinien: Nicht erst vom Augenblick des Verlegens der Schwellen ab, sondern schon sofort nach dem Fällen des Holzes setzt die Zerstörerarbeit der Fäulniserreger ein. Daher muß die Ausbaulinie auch schon vor der Einbauzeit beginnen. Die Statistik gibt aber keinerlei Auskunft darüber, welche Zeiträume zwischen dem Fällen der Hölzer und dem Einbau der Schwellen liegen. Man kann nur ganz allgemein sagen, daß rohe Schwellen schneller zum Einbau gelangen als getränkte Schwellen, weil die Konservierung eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt.

Der Verlauf der Ausbaulinie zwischen der Fällzeit und dem Einbau muß ferner Unterschiede zu der Liegezeit im Gleis aufweisen. Bei rohen Schwellen fehlt bis zum Einbau die mechanische Beanspruchung; die Ausbaulinie muß also anfänglich flacher sein und im Einbaujahr einen Knick erhalten. Bei getränkten Schwellen folgt die Ausbaulinie erst einer gesetzmäßigen Kurve für rohe unbelastete Schwellen und nach der Tränkung der für getränkte unbelastete Schwellen; sie erhält also zwei entgegengesetzte Knicke. Es können daher der tatsächliche Anfangspunkt und der für den späteren Verlauf gültige — ideelle — Anfangspunkt der Ausbaulinie verschiedene Lage erhalten. Man gewinnt also auch dann keine sicheren Aufschlüsse über die Scheitellage der Parabeln, wenn die Fäll- und die Tränkzeit bekannt sind. Deshalb mußte versucht werden, die Scheitellage aus den Kurven selbst heraus zu bestimmen. Es wurden empirisch Parabeln aufgesucht, die bei Übereinstimmung von  $x$  und  $a$  in der Gleichung  $y = Cx^a$  die Ausbaulinien I bis VI in Abb. 1, Tafel 9, möglichst gut deckten. Am besten paßten Parabeln mit  $a = \frac{5}{3}$ , also mit der Gleichung  $y = Cx^{\frac{5}{3}}$  bei den in Abb. 1, Tafel 9, eingetragenen Abständen der Scheitel von der O-Linie und der Y-Achse von der 50%-Linie.

Dem Streben Mac Leans folgend, sind sodann die Parabeln im Wahrscheinlichkeitsnetz — ebenso wie nach Abb. 3 die Gaußsche Wahrscheinlichkeitslinie — zur Geraden gestreckt worden. An alle sechs Parabeln wurden in den Schnittpunkten mit der 50%-Linie Tangenten gelegt und auf diese die Schnittpunkte der Parabeln mit den anderen Prozentlinien projiziert. Es entsteht so das in Abb. 1, Tafel 9, punktiert für Ausbaulinie I und in Abb. 2, Tafel 9, voll dargestellte neue Netz, in dem alle Ausbaulinien als Gerade erscheinen. Die Prozentlinien rücken unter 50% enger zusammen, über 50% weiter auseinander; die ideellen Anfangspunkte der Ausbaulinien behalten ihre Abstände von der O-Linie und ihre gleiche Höhenlage bei. Es ist natürlich auch möglich, die Projektion auf irgendwelche anderen Tangenten vorzunehmen, wenn das als praktischer erscheint.

Die Abstände der Anfangspunkte von der O-Linie betragen in der Reihenfolge der Ausbaulinien I bis VI: — 0,5; — 0,7; — 1,2; — 1,4; — 1,5 und — 1,6 Jahre. Sie wachsen also mit der Verflachung der Linien, jedoch nicht im gleichen Verhältnis. Es gilt daher zu untersuchen, ob das auf Zufälligkeiten in der Statistik, auf unrichtiges Einpassen der Parabeln oder auf Naturnotwendigkeiten beruhen kann. Es sei mit den Linien V und VI begonnen. Beide entstammen überwiegend sorgfältig geführten Statistiken der gleichen Verwaltung, beide beziehen sich auf die gleiche Holzart (Kiefer), beide auf getränkte Schwellen; lediglich die Tränkungsart ist verschieden. Nimmt man an, daß die durchschnittlichen Fäll- und Tränkzeiten bei beiden Linien übereinstimmen, dann müssen sie zwischen Fällung und Tränkung zusammenfallen und einer gesetzmäßigen Linie für rohe, unbelastete Schwellen folgen (steiler als V und VI, etwa parallel III); von hier ab läuft Linie VI flacher als Linie V, jede für sich flacher als ihre zugehörige Linie nach dem Einbau, weil die mechanische Beanspruchung noch fehlt. Schätzt man  $L_m$  für unbelastete Schwellen 20% länger ein als die für belastete Schwellen, dann ist das Auseinanderstreben der beiden Linien zwischen Tränkzeit und Einbau (rund  $\frac{1}{2}$  Jahr) sehr gering, d. h. die beiden Linien V und VI müssen im Einbaujahr sehr nahe aneinanderliegen. Das ist aber nur möglich, wenn der

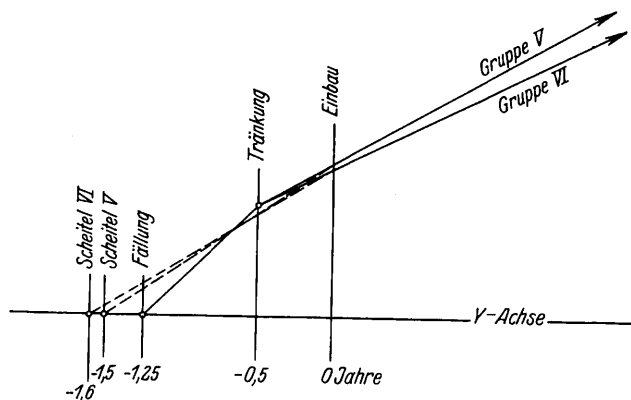


Abb. 9.

Anfangspunkt VI weiter von der O-Linie abliegt als der Anfangspunkt V (Abb. 9). Bei so flachen Linien ist es gar nicht leicht, zeichnerisch den Anfangspunkt auf 0,1 Jahr genau zu bestimmen. Linie VI könnte man z. B. auch bei — 1,5 Jahren beginnen lassen, ohne daß die Deckung merkbar schlechter wird. Dann rücken die Linien V und VI in Höhe der O-Linie weiter auseinander; auch das wäre zu erklären und zwar durch Unterschiede in der Fällzeit. Die eindeutige Aufklärung solcher Feinheiten kann man aber schließlich von den Abb. 1 und 2, Tafel 9, nicht verlangen. Schon daß Unterschiede in der Scheitellage bei rohen und getränkten Schwellen so bestimmt aufgedeckt werden, zeugt von einem Genauigkeitsgrad, der für die Praxis vollauf genügt. Er reicht soweit, daß er durch die Scheitellage sogar die Anteile von rohen Schwellen in den Ausbaulinien III und IV kenntlich macht.

Überraschend gut fügt sich diesem System auch Ausbaulinie VII ein (100 mm hohe badische Eisenschwellen) und offenbart dadurch, daß Eisenschwellen der gleichen Gesetzmäßigkeit unterliegen wie Holzschwellen. Die Walzung der Schwellen erfolgt durchschnittlich  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Jahr vor dem Einbau. Bis dahin wirkt nur der Rost zerstörend auf sie ein; daher ist die wirkliche Ausbaulinie, ebenso wie bei rohen Holzschwellen, vor der O-Linie etwas flacher als später. Der Scheitel der Deckungsparabel wird etwa bei — 0,4 Jahren anzunehmen sein. Er läßt sich zeichnerisch nicht so genau bestimmen wie bei den Ausbaulinien III bis VI, weil diese

Linien etwas stetiger verlaufen. Der Grund hierfür ist einmal darin zu suchen, daß sich Linie VII über einen viel längeren Zeitraum in der Zone der niedrigen Prozentsätze bewegt, in der die kleinsten Schwankungen sehr deutlich werden. Andererseits ist die Bezugsmenge geringer als bei den Linien III bis VI und zwar beträchtlich im Hinblick darauf, daß die zur Glättung der Ausbaulinien erforderliche Beobachtungsmenge mit Zunahme der mittleren Lebensdauer größer werden muß.

Das Abirren der Linie VII nach oben in den ersten Jahren der Statistik ist vermutlich auf Entgleisungen zurückzuführen; diese rechnen nicht zu den Häufigkeitserscheinungen, sondern verteilen sich — theoretisch — fast gleichmäßig über alle Betriebsjahre; daher müssen sie die Ausbaulinien in der Zone der kleinen Prozentsätze (unter 0,05%) etwas anheben. Die gleiche Erscheinung ist auch bei den meisten Ausbaulinien für Holzschwellen zu beobachten.

Die punktiert eingetragene Linie (VIIa) für 100 mm hohe badische Eisenschwellen einschließlich Tunnelschwellen legt sich wulstartig über Linie VII und kennzeichnet sich dadurch deutlich als Mischlinie: der Wulst rührt von den kurzlebigen Tunnelschwellen her. In Abb. 8 kommt der Mischliniencharakter der Linie (VIIa) viel weniger klar zum Ausdruck. Man erkennt hieraus den besonderen Wert der Darstellungsweise nach Abb. 1 und 2, Tafel 9.

Bei Linie (VIII), die ebenfalls punktiert in Abb. 1 und 2, Tafel 9, eingetragen ist, tritt das Heranziehen an die für die zweite Liegezeit gültige gesetzmäßige Ausbaulinie im Wahrscheinlichkeitsnetz ebenfalls deutlicher hervor als in Abb. 8. Der Wulst reicht bis in die erste Liegezeit zurück und offenbart dadurch, daß auch bei den 75 mm hohen Eisenschwellen die Tunnelrostung ihren Einfluß auf den Verlauf der Ausbaulinie ausgeübt hat.

Die zu Ausbaulinie I in Abb. 1, Tafel 9, gestrichelt eingetragene Variante Ia ist die mittlere Ausbaulinie ohne Berücksichtigung der Korrektur der Einzellinie 55274 Kr. Das starke Abirren im Bereich der oberen geringen Prozentsätze macht den statistischen Fehler sehr deutlich erkennbar und erklärt, warum die auf den ersten Blick überflüssig erscheinende Korrektur vorgenommen wurde.

In Abb. 1a, Tafel 9, sind die gesetzmäßigen Ausbaulinien I bis VII als A-Linien und in Abb. 2a, Tafel 9, als S-Linien dargestellt. Um deren Unsymmetrie deutlicher kenntlich zu machen, sind die zu  $A_1$  und  $S_1$  gehörigen Gaußschen Wahrscheinlichkeitslinien, die der in Abb. 1, Tafel 9, gezeichneten Tangente an Ausbaulinie I entsprechen, punktiert eingetragen.

Aus den A-Linien läßt sich rechnerisch leicht die mittlere Lebensdauer bestimmen; sie liegt übereinstimmend für alle Linien etwas über 52% Gesamtabgang. Die Scheitelhöhen der A-Linien und die Wendepunkte der S-Linien liegen etwa bei 47% Gesamtabgang.

Eine Bestätigung für die Richtigkeit der Lösung scheint mir folgende Überlegung zu bieten: Daß eine Verwandtschaft zwischen der Gaußschen Wahrscheinlichkeitslinie und der als gesetzmäßig angesprochenen Ausbaulinie besteht, ist wohl nicht zu bestreiten. Man darf sogar annehmen, daß die durch die Wahrscheinlichkeitslinie ausgedrückten Gesetze für die Ausbaulinie beherrschend sind; nur wirkt hier eine Funktion verändernd ein, die die besonderen Verhältnisse bei Ausbaulinien ausdrückt. Die integrierte Gaußsche Wahrscheinlichkeitslinie kommt aus dem Unendlichen und geht ins Unendliche. Die Ausbaulinie entspringt aber in einem endlichen Punkt auf der Grundlinie und geht nur im oberen Ast ins Unendliche. Es ist nicht vorstellbar, daß die Ausbaulinie, um an die Wahrscheinlichkeitslinie heranzukommen, am Anfang steil hochspringt, sei es auch nur um ein kleines Maß; denkbar ist nur ein allmählicher Übergang. Man stelle sich die Gaußsche

A-Linie als elastisches, am Scheitel C und in den beiden Punkten B und D festgehaltenes Band vor (Abb. 1a, Tafel 9) und drücke dieses bei E auf die Grundlinie nieder; dann wird das elastische Band eine Formveränderung erfahren, die sich über seine ganze Länge erstreckt und sehr wohl die für Ausbaulinien als gesetzmäßig gefundene A-Linienform annehmen kann. Die Funktion — hier als Kraft gedacht, in Abb. 1, Tafel 9 als Parabel erscheinend — korrigiert also gewissermaßen die Gaußsche Wahrscheinlichkeitskurve so, daß sie im vorderen Ast endlich wird.

Nach alledem darf man wohl sagen, daß durch die vorbeschriebene Untersuchung die Lösung der Aufgabe, den gesetzmäßigen Verlauf der Ausbaulinien von Eisenbahnschwellen zu bestimmen, gelungen ist oder wenigstens ein Ergebnis erzielt wurde, das ihr nahe kommt. Eine gewisse Unsicherheit bleibt nur noch hinsichtlich des Verlaufs der Ausbaulinien im Bereiche von 50 bis 100% übrig. Die Linien I und II, die für Schlußfolgerungen über den oberen Ast der Ausbaulinien zur Verfügung stehen, stützen sich auf verhältnismäßig geringe Beobachtungsmengen und auf Einzellinien, die mit größeren statistischen Fehlern behaftet sein können. Denkbar wäre immerhin eine symmetrische S-Linie an Stelle

zunützen. Freilich ist nicht sicher, daß die Jahreszeichen der langlebigen Schwellen bis zum Ausbau erhalten bzw. leserlich bleiben. Die Schwellennägel der jetzigen Form fallen leicht heraus, wenn das Holz zu faulen beginnt, namentlich nach dem Ausbau beim Transport zum Lager. Um das zu verhüten, wäre die Vorschrift zu empfehlen, daß vor dem Ausbau der feste Sitz der Nägel geprüft wird und nötigenfalls ein Umsetzen in einen festen Teil des Holzes erfolgt. Besser wäre noch die Einführung von nichtrostenden Jahresmarken mit großen Zahlen, Schraubengewinden und einer Kopfform, die das Eindrehen mit dem Schwellenschraubenschlüssel gestattet. Bei Eisenschwellen besteht die Gefahr des Abrostens der erhaben eingewalzten Jahreszeichen. Es empfiehlt sich daher, nach Abb. 10 in die Schwellendecke etwa 20 cm außerhalb der Mitte kleine Löcher beispielsweise nach dem Schema der Abb. 11 zu stanzen, aus dem die Jahreszahlen (Beispiele Abb. 11a bis 11c) zu ersehen sind. Nach Abb. 11 werden zwei Lochreihen vorgesehen: die obere Reihe stellt die Zehner 0 bis 9, die untere Reihe die Einer 0 bis 9 dar. Loch 0 der oberen Reihe ist größer als die übrigen Löcher (15 mm Durchmesser) und stets vorhanden. Loch 0 der unteren Reihe ist ebenfalls stets vorhanden, hat aber die gleiche Lochweite wie die übrigen Zahlen-

Schwelle SW. 7. Jahrgang 1999.

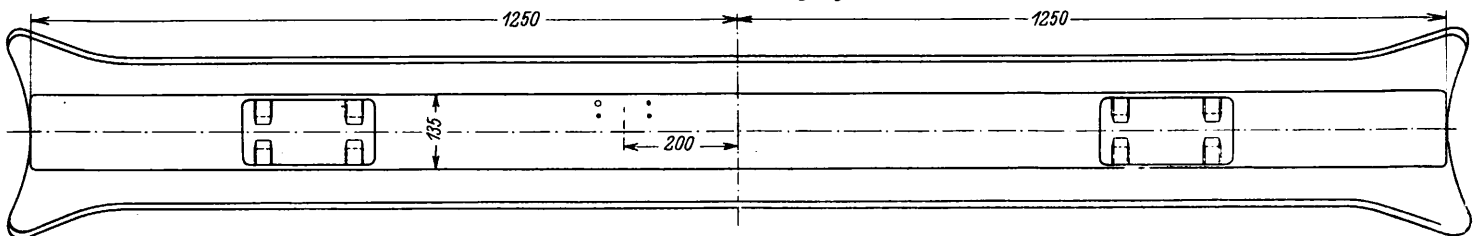


Abb. 10.

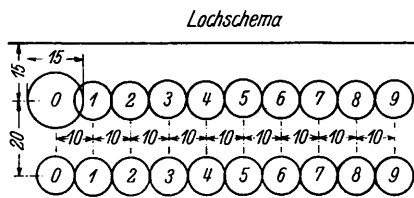


Abb. 11.

Schwellen-  
deckenrand

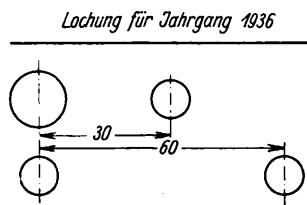


Abb. 11a.

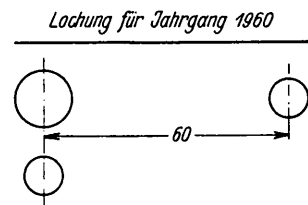


Abb. 11b.

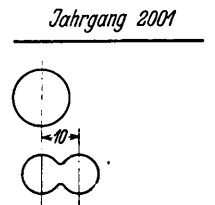


Abb. 11c.

der Parabel in Abb. 1, Tafel 9, also Symmetrie von oberem und unterem Ast. In diesem Falle würden  $L_{50}$  und  $L_m$  zusammenfallen und bei Zugrundelegung des Netzes in Abb. 2, Tafel 9, ein Fehler von  $-2\%$  für  $L_m$  entstehen. Daß der Irrtum noch größer sein könnte, ist nach dem Verlauf vieler Einzellinien und der bis 80% verfolgten Ausbaulinien IV und V unwahrscheinlich.

### VI. Praktischer Nutzen der gefundenen Gesetzmäßigkeit.

Der Wissenschaftler ist in der Regel befriedigt, wenn er die Lösung eines Problems gefunden hat: den Praktiker interessiert aber mehr der Nutzen, den er aus der Lösung ziehen kann. Läßt sich nun das vorbeschriebene Untersuchungsergebnis praktisch ausnützen? Ich glaube diese Frage bejahen zu können unter der Voraussetzung, daß Vorkehrungen getroffen werden, die die Ausnützung ermöglichen, daß also Statistiken nach dem Vorbilde der Sächsischen und der Badischen Staatsbahn geführt werden. Wenn ich recht unterrichtet bin, werden bei der Reichsbahn die ausgebauten Schwellen schon jetzt den vorgesetzten Dienststellen gemeldet, jedoch nur der Zahl nach, nicht nach Jahrgängen geordnet. Schwellennägel und Walzzeichen, die die Feststellung des Jahrgangs gestatten, sind aber schon seit Jahrzehnten üblich; es ist nur noch nötig, sie praktisch aus-

löcher (10 mm Durchmesser). Der Unterschied im Durchmesser der 0-Löcher verhütet Irrtümer, wie ferner die exzentrische Lage zu beiden Schwellenachsen. Letztere wird auch deshalb vorgeschlagen, damit die Jahreslöcher nach dem Zusammenschweißen der gesunden Mittelteile zweier altbrauchbarer Schwellen nicht in die neuen Schienenlager fallen. Die Jahreszahl läßt sich mit Hilfe einer Schablone oder des Zollstocks (1 cm = 1 Jahr oder 1 Jahrzehnt) leicht ablesen. Wird beim Einlegen darauf geachtet, daß die Jahreslocher bei allen Schwellen auf derselben Seite sitzen, dann sind beim Überprüfen einzelne, später erneuerte Schwellen sehr leicht erkennbar.

Da nach den Erfahrungen insbesondere der Badischen Staatsbahn der Schwellenausbau häufig lückenhaft gemeldet wird, sind zur Erlangung einer genauen Statistik dringend Kontrollzählungen in bestimmten Zeiträumen, beispielsweise alle drei oder fünf Jahre im Herbst oder Frühjahr zu empfehlen, die sich auf Gleise und Lager erstrecken müssen. Die hierbei aufgedeckten „Fehlmenngen“ werden in der Statistik im Verhältnis zu den jährlichen Abgangsprozentsen auf die zurückliegenden drei bzw. fünf Jahre verteilt. Die Fehler, die entstehen können, sind viel geringer als die Fehler bei Außerachtlassung dieser oft beträchtlichen Fehlmenngen. Die Zählungen müssen insbesondere bei den Lagern sehr sorgfältig geführt

werden, weil hier nach Eingang, Abgang zur Aufarbeitung, Abgang zum Wiedereinbau, Abgang als Brennholz oder Schrot usw. getrennt Buch geführt werden muß. Nur die völlig unbrauchbaren Schwellen werden in der Statistik dem Ausbaujahr zugerechnet, die als Bauschwellen verkauften Altschwellen aber nach Schätzung ihrer übrigbleibenden Gebrauchsdauer späteren Jahren eingereicht. Auf solche Feinheiten muß geachtet werden, wenn ein zuverlässiges Ergebnis angestrebt wird.

Ich möchte hier der Hoffnung Ausdruck geben, daß die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft ihrem statistischen Büro die Aufgabe zuweist, die Ausbaulinien von Schwellen zu verfolgen. Zu empfehlen ist, die Statistik über das ganze Reichsgebiet auszudehnen oder bei Teilstatistiken (einzelne Direktionsbezirke) die Zahl der in andere Bezirke abwandernden Altschwellen genau zu erfassen. Zweckmäßig wird die Art der Statistik (Kartothek oder dergl.) zunächst in einem Direktionsbezirk zwei Jahre lang erprobt, damit spätere Änderungen nicht große Kosten bringen oder empfindliche statistische Fehler veranlassen können. Es ist dann, etwa von 1935 an, immer noch möglich, sämtliche Reichsoberbauarten und Schwellenformen für die rückliegende Zeit zu erfassen. Eiserne Breitschwellen und Mittelschwellen, ferner auch Vorratschwellen werden zweckmäßig getrennt verfolgt. Die Statistik würde mit einer Kontrollzählung der eingebauten und auf Lager liegenden Schwellen beginnen müssen; die Beschaffungsmengen sind bekannt, so daß aus dem Unterschied der Abfall zu bestimmen ist. Die Verteilung auf die einzelnen Betriebsjahre kann entweder unter Anlehnung an die badische und die sächsische Statistik, oder durch Vergleich der einzelnen Jahrgänge mit ziemlicher Genauigkeit vorgenommen werden.

Eine sorgfältig geführte Statistik in einem so großen Beobachtungsfeld, wie es der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zur Verfügung steht, gestattet, die Zuverlässigkeit des bisherigen Ergebnisses auf das Genaueste zu prüfen und erforderlichenfalls zu berichtigen. Die heutige Generation wird das Endergebnis natürlich nicht erleben. Sie hat aber schließlich die Pflicht, auch an spätere Generationen zu denken und diesen die Entschleierung von Geheimnissen zu ermöglichen, die uns noch verschlossen bleiben. So wie wir heute an Forschungsergebnissen zehren, die unsere Vorfahren erzielten, sollten wir — wenn es uns irgend möglich ist — Vorkehrungen treffen, die unseren Kindern und Kindeskindern zustatten kommen. Was wir versäumen, das geht auch der späteren Zeit verloren. Es müßte freilich durch eine alljährlich den maßgebenden Leitern vorzulegende Mahnung dafür gesorgt oder wenigstens angestrebt werden, daß die mühevoll über Jahrzehnte geführte Statistik nicht vor der Vollendung aus irgendwelchen Erwägungen heraus abgebrochen wird; denn dann wäre das bis dahin Geleistete fast vollständig verloren. So ist es beispielsweise kaum noch möglich, die im Jahre 1919 abgebrochene sächsische Statistik wieder aufzurichten. Man könnte höchstens durch eine sorgfältige Zählung der noch im Gleise und auf Lagern liegenden sächsischen Schwellen gewisse Anhaltspunkte über den späteren Verlauf der Ausbaulinien erhalten. Wäre die sächsische Statistik bis heute ununterbrochen weitergeführt worden, dann würden wir nicht mehr so im Dunkeln tappen hinsichtlich des Verlaufs der Ausbaulinien zwischen 50 und 100%.

Die von der Reichsbahn einzurichtende Statistik würde auch der heutigen Generation schon Nutzen bringen. Legt man zunächst das in Abb. 2, Tafel 9, dargestellte Wahrscheinlichkeitsnetz zugrunde, das doch mit großer Wahrscheinlichkeit, jedenfalls nach dem heutigen Stand der Wissenschaft, als gesetzmäßig anzusprechen ist, dann kann man schon nach 10 bis 15 Jahren der Statistik mit einer Genauigkeit von  $\pm \frac{1}{2}$  bis 1 Jahr erkennen, auf welche mittlere Lebensdauer

die Ausbaulinien zusteuern, ob also die aufgewendeten Kosten in wirtschaftlich günstigem Verhältnis zur Lebensdauer stehen, oder ob zur Erzielung von Ersparnissen Änderungen getroffen werden müssen. Bisher konnten wirtschaftliche Vergleiche immer nur auf Schätzungen der Lebensdauer gestützt werden, also — wie schon eingangs gesagt — mehr oder weniger auf Ansichten, ja Hoffnungen einzelner Persönlichkeiten.

Bessere Anhaltspunkte für wirtschaftliche Vergleiche, als sie die bisherige einfache Schätzung gewährte, bietet aber schon das vorliegende Untersuchungsergebnis. Wie bereits erwähnt, läßt die dänische Schwellenstatistik die einigermaßen sichere Schätzung zu, daß die Lebensdauer der nach dem Rüpingschen Sparverfahren getränkten Kiefernchwellen etwa 10% größer ist als die der mit Zinkchloridlauge und 2 kg Teeröl getränkten Kiefernchwellen. Nach der sächsischen Statistik erreicht letztere Schwellenart eine mittlere Lebensdauer von 21,9 Jahren. Eine Verlängerung von 10% führt also auf  $L_m = 24$  Jahre; hierzu tritt ein weiterer Zuschlag, der den übrigen Verbesserungen Rechnung trägt. Man muß hierbei berücksichtigen, daß bei Reichsoberbau K die Schwellenteilung etwas weiter ist als beim sächsischen Oberbau und daß die Fahrgeschwindigkeiten und Verkehrsbelastungen gestiegen sind; die mechanischen Angriffe werden bei Reichsoberbau K (Weichholz) trotzdem geringer sein als bei den älteren Befestigungsarten. Das drückt sich aber weniger in der längeren Lebensdauer als in der Ersparnis an Unterhaltungskosten aus (Dechseln, Verpflocken usw.). Dagegen wird die bessere Entwässerung und Entlüftung der Bettung die Lebensdauer der Schwellen deutlicher heraufsetzen, so daß der Zuschlag auf ein bis zwei Jahre und die mittlere Lebensdauer der Weichholzschwellen K auf 25 bis 26 Jahre geschätzt werden kann.

Ob die Ausbaulinie sich in der Verwendungszeit der Schwellen in Gleisen zweiter und dritter Ordnung verflachen wird, muß als fraglich angesprochen werden, weil die Fäulnis als Abgangsursache beherrschend ist und die geringere mechanische Beanspruchung sich weniger durch Lebensverlängerung als durch Ersparnisse in der Unterhaltung bemerkbar macht.

Anhaltspunkte für die zu erwartende mittlere Lebensdauer von Hartholzschwellen, insbesondere Buche, die nach dem Rüpingschen Sparverfahren getränkt sind, bietet die vorliegende Sammlung von Ausbaulinien nicht. Schätzungen gehen außerordentlich weit auseinander (25 bis 35 Jahre). In neuerer Zeit sind von der Holländischen Staatsbahn Untersuchungen über die Tränkwirkung des Rüpingschen Sparverfahrens geführt und im Organ 1931, Heft 17 veröffentlicht worden. Hiernach soll das Rüpingsche Sparverfahren bei Buchenschwellen die Erwartungen nicht erfüllt haben; gute Wirkungen entstehen nach Ansicht von J. A. E. van der Ploeg erst bei drei- bis viermaliger Tränkung und Verdoppelung der Teerölmenge. Daß das die Kosten und damit die Vergleichsbasis stark verschiebt, liegt auf der Hand.

Die mittlere Lebensdauer des Reichsoberbaues B läßt sich sehr sicher einschätzen, da sein Vorbild, der badische Oberbau, sorgfältig statistisch verfolgt ist. Schienenbefestigungsart, Deckenstärke und Schenkelstärken sind die gleichen geblieben; bei Länge, Breite und Kleisenzenzie sind die Abmessungen etwas reichlicher gewählt. Ein Mangel des badischen Oberbaues, der schwebende Stoß, ist durch Einfügen der Breitschwellen behoben. Allerdings ist die Breitschwellenform Sw 2 nicht glücklich gewählt; wenn sie aber getrennt untersucht wird, beeinflußt ihr Verhalten nicht den Verlauf der Ausbaulinien für die Hauptmasse der Schwellen. Im übrigen ist die Zahl der Stoßschwellen bei Reichsoberbau B geringer als beim badischen Oberbau, da die Schienenlänge größer ist (15 statt 12 m). Wegen Ausfall der stärker bean-

spruchten Stoßschwellen ist eine etwas längere mittlere Lebensdauer der Schwellen  $S_w 1$  bei dauernder Verwendung in Gleisen erster Ordnung zu erwarten, als sie die badischen Vorläufer erreichten, zumal die Schwellenteilung enger ist. Das gleichen aber wieder die höheren Achslasten aus. Mit höheren Fahrgeschwindigkeiten und Verbesserungen in der Bettung wird man bei Strecken erster Ordnung mit Reichsoberbau B nicht zu rechnen haben, weil mit Verbesserungen in der Linienführung und der Bettung erst später begonnen wurde; Reichsoberbau B ist ja überwiegend 1924 bis 1927 beschafft worden. Man darf sonach annehmen, daß sich die Ausbaulinie für Reichsoberbau B der Ausbaulinie der badischen 100 mm hohen Schwellen (Linie VII,  $L_m = 37,5$  Jahre) bei dauernder Verwendung in Gleisen erster Ordnung gut anpassen wird.

Reichsoberbau K (Eisen) besitzt im Vergleich zu Reichsoberbau B den Vorzug, daß er gegen mechanische Angriffe besser geschützt ist. Man darf daher für dauernde Verwendung in Gleisen erster Ordnung mit einer mittleren Lebensdauer von über 40 Jahren rechnen. Nach dem ersten Umbau ist eine Annäherung der Ausbaulinie an die gesetzmäßige Kurve von  $L_m > 45$  Jahre (Gleise zweiter Ordnung) zu erwarten, da schon die Ausbaulinie der 75 mm hohen badischen Schwellen nach Abb. 8 und Abb. 1, Tafel 9, auf  $L_m = 45$  Jahre zusteuert. Nach dem zweiten Umbau wird für die Verwendungszeit in Gleisen dritter Ordnung eine weitere Verflachung ent-

stehen, die die Ausbaulinie auf  $L_m > 50$  Jahre führt, zu welcher Erwartung der Verlauf der Ausbaulinie D III für 60 mm hohe Schwellen in Abb. 8 berechtigt. Möglich ist sogar, daß die Ausbaulinie für Schwellen K (Eisen) von Anfang an flacher verläuft und die Ordnungsklasse der Gleise nur wenig zum Ausdruck kommt. Je besser die Schienenbefestigung ist, desto geringer ist der Einfluß der mechanischen Zerstörung auf die mittlere Lebensdauer, desto glatter schmiegt sich die Ausbaulinie der dann beherrschenden „Rostkurve“ — wie ich sie kurz nennen will — in allen Ordnungsklassen der Gleise an.

Zum Schluß möchte ich allen denen danken, die die oben beschriebenen Untersuchungen förderten. Ich nenne:

Privatdozent Dr. phil. Dr. Ing. F. Moll, der mir seine umfangreiche Sammlung von Statistiken zur Verfügung stellte und mich mit seinen langjährigen Erfahrungen unterstützte.

Reichsbahndirektion Dresden, Reichsbahndirektion Karlsruhe und Gruppenverwaltung Bayern, die mir ihre Schwellenstatistiken zur Durchsicht überließen und bereitwilligst jede gewünschte Erläuterung gaben.

Ministerialdirigent Geheimrat Rohlfing †, der wertvolle Auskünfte über die Telegraphenstangen-Statistik der Deutschen Reichspost erteilte

und meinen Mitarbeiter Ingenieur Wißner, dessen unermüdlicher Fleiß und feinstes Verständnis die Untersuchungen wesentlich förderten.

## Bücherschau.

**Dr. Ing. Gehler, Balkenbrücken.** Sechster Band des Handbuchs für Eisenbetonbau. Dritte Auflage. Berlin 1931, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

Die Entwicklung des Brückenbaues zeigt, daß Eisenbeton-Balkenbrücken immer stärker bevorzugt werden. Diese Entwicklung spiegelt die groß angelegte Bearbeitung des umfangreichen Gebietes durch Prof. Dr. Gehler wieder. Zunächst wird im 1. Kapitel ein Überblick gegeben über die Grundformen einfacher und durchlaufender Träger, Kragträger, eingespannte und Rahmenträger, Bogenbalken. Den Hauptteil des Werkes bildet das 2. Kapitel. Darin werden dargestellt: allgemeine Entwurfsbedingungen, die Ausbildung des Tragwerkes, Einzelheiten, Widerlager, Zwischenstützen, Lager. Die grundsätzlichen Darlegungen werden durch 39 Beispiele ausgeführter Brücken belegt. Sehr ausführliche Behandlung erfährt die statische Berechnung, gegliedert in: Bedeutung und Form der statischen Berechnung-Belastungsannahmen, Berechnung der Platte, lastverteilender Querträger, der Hauptträger, der Zwischenstützen, Lager und Gelenke. Im 3. Kapitel folgen Balkenbrücken unter Eisenbahngleisen, im 4. Kapitel wird die Anwendung von Eisenbeton bei Eisenbrücken vorgeführt. Das 5. Kapitel bringt Ausführung, Unterhaltung und Kosten der Eisenbeton-Balkenbrücken. Ein sehr ausführliches Sachverzeichnis erleichtert das Auffinden von Einzelheiten.

Die Neubearbeitung des großen Gebietes führte zu einer Zusammenfassung des gesamten Stoffes; in der neuen Form hat die Darstellung an Geschlossenheit außerordentlich gewonnen. 795 Abbildungen enthalten die besten Lösungen des letzten Jahrzehnts und lassen deutlich erkennen, daß mit statisch-konstruktiven Fortschritten auch die architektonische Gestaltung Schritt gehalten hat. Der Nutzen vernünftiger Normen spiegelt sich deutlich wieder. Die neuen Brückenvorschriften Din 1075 finden ausführliche Behandlung. Liebevoll sind die baulichen Einzelheiten behandelt und bildlich dargestellt (Entwässerung, Isolierung, Dehnungsfugen, Gelenke, Auflagerung, Versteinung). Die Übersichten ausgeführter Bauwerke III bis V auf S. 128 bis 134 lassen erkennen, daß bezüglich der Grundmaße der Balkenbrücken gewisse Mittelwerte häufig wiederkehren. Sehr dankenswert sind die Erörterungen über die statische Wirkung lastverteilender Querträger; diese Ergebnisse werden sehr einfach und übersichtlich in Übersicht XIX dargestellt.

Balkenbrücken unter Eisenbahngleisen sind in ihrer Stütz-

weite beschränkt. Dagegen werden bedeutende Werkbrücken für Förderbahnen vorgeführt. Sehr interessant sind die Mitteilungen über Anwendung von Beton bei Eisenbrücken. Hier liegen bemerkenswerte schweizerische Ausführungen vor. Eisenbeton-Fahrbahntafeln auf Eisenträgern wurden auch bei der Deutschen Reichsbahn vielfach angewendet.

Der Ruf des Verfassers bürgt dafür, daß seine „Balkenbrücken“ auch im neuen Gewand unentbehrliches Hilfsmittel unserer Konstrukteure werden wird.

Die Ausstattung, die der Verlag dem Buche gegeben hat, ist mustergültig. B. Löser (Dresden).

**Berechnungsgrundlagen für massive Brücken.** Ausgabe 1930.

Mit 17 Textabb. Berlin 1930. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Preis geh. 1.50 *R.M.*

Durch diese Vorschriften, die die Bestimmungen des deutschen Ausschusses für Eisenbeton ergänzen und auch für Brücken aus Mauerwerk gelten, werden endlich die vielen Unklarheiten, die auf diesem Gebiet herrschten, beseitigt. Durch Zulassung höherer Spannungen wird außerdem ein Anreiz zur Verwendung veredelter Baustoffe und Vornahme strenger Güteprüfungen geschaffen, was die Wettbewerbsfähigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Massivbauweise nur fördern kann. Die Gliederung der Vorschriften ist klar und übersichtlich. Schbg.

**Hilfswerte für das Berechnen und Entwerfen stählerner Eisenbahnbrücken der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.** Berlin 1930.

Verlag von W. Ernst & Sohn. Preis steif geh. 15.— *R.M.*

117 Tafeln zur Berechnung der Längs- und Querträger aus St 37 für Brücken mit zwischenliegender Fahrbahn ohne und mit durchgeführter Bettung. Die Hilfswerte sind als Ergänzung zu den Berechnungsgrundlagen für eiserne Eisenbahnbrücken (Ausgabe 1925) aufgestellt und beschränken sich auf die Lastenzüge N und E, da sie nur für neue Brücken in Betracht kommen. Sie umfassen die Belastungswerte und die erforderlichen Widerstandsmomente für Längsträger bis zu 8,0 m Stützweite und die Querträger eingleisiger Brücken mit 2,5 bis 5,2 m Hauptträgerabstand, sowie deren Nietanschlüsse. Das sehr übersichtlich zusammengestellte Zahlenwerk ist mit Daumenschnitten zur bequemen Handhabung versehen und wird beim Entwerfen neuer Brücken durch die Einschränkung der Rechenarbeit ausgezeichnete Dienste leisten.

Karig.