

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

92. Jahrgang

15. Oktober 1937

Heft 20

Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen.

Tagung des Technischen Ausschusses in Kopenhagen.

Der Technische Ausschuß des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen hielt seine diesjährige Tagung auf Einladung der Generaldirektion der Dänischen Staatsbahnen am 1. bis 3. September 1937 in Kopenhagen ab. Den Vorsitz führte Herr Ministerial-Sektionschef von Láner, Vizepräsident der Direktion der Königl. Ungarischen Staatseisenbahnen. In seiner Begrüßungsansprache erinnerte der Vorsitzende daran, daß der Verein am 10. November 1936 auf ein 90jähriges Bestehen zurückblicken konnte. Den Gedenktag seines 90jährigen Bestehens habe der Verein durch Herausgabe eines „Vereins-Handbuch“ gefeiert, das seine Geschichte, sein Wirken für den einheitlichen Aufbau des europäischen Eisenbahnwesens, die von ihm geschaffenen Einrichtungen und seine Aufgaben in Gegenwart und Zukunft behandle. Im „Org. Fortschr. Eisenbahnwes.“ ist dieses Gedenktages mit einem besonderen Fachheft „Neunzig Jahre Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen“ gedacht.

Namens der Generaldirektion der Dänischen Staatsbahnen begrüßte Herr Direktor Flensborg den Ausschuß und hieß ihn in Dänemark herzlich willkommen.

Nach einigen geschäftsordnungsmäßig zu erledigenden Angelegenheiten beriet der Ausschuß eine Reihe von bau- und maschinentechnischen Anträgen. Aus diesen seien folgende hervorgehoben:

1. Einführung und Vereinheitlichung der zweiteiligen Heizkupplung.

Die Arbeiten sind so weit gediehen, daß unter Berücksichtigung der Beschlüsse im IEV demnächst an die endgültige Aufstellung der richtiggestellten Bestimmungen über Dampfheizung für die TV gesritten werden kann. Im Zusammenhang hiermit soll dann auch noch der Vereinheitlichung der Halbkupplungen und der Absperrvorrichtungen für Halbkupplungen nähergetreten werden.

2. Aufnahme einer Bestimmung in die TV über das Schrumpfmaß der warm aufgezoogenen Radreifen.

Die Ergebnisse der Vorarbeiten sind in einer „Gesamtzusammenfassung“, einer „Anleitung für den Bau und die Unterhaltung von Radsätzen der Eisenbahnfahrzeuge hinsichtlich der Schrumpf- und der Preßsitzverbindung“ und einem „Entwurf für die Aufnahme einer Bestimmung in die TV über das Schrumpfmaß warm aufgezoogener Radreifen“ niedergelegt. Die „Gesamtzusammenfassung“ enthält die Ergebnisse aus den Beratungen des Arbeitsausschusses, aus den Arbeiten und Beratungen der diesem Arbeitsausschuß angehörenden versuchsführenden Stellen (Deutsche Reichsbahn, Österreichische Bundesbahnen und Schweizerische Bundesbahnen) und aus besonderen Studienarbeiten und zwar

„Die Sicherheit der Radkörperbereifung der Eisenbahnfahrzeuge“ von Dr. Ing. Erich Müller (Glaser's Ann. 1931), „Über das Aufschumpfen von Radreifen“ von Ing. Rudolf Scheck („Org. Fortschr. Eisenbahnwes.“ 1932, Hefte 15 und 20),

„Schrumpfsitz und Beanspruchungen beim Speichenrad“ von Ernst Kreissig, Ürdingen (Glaser's Ann. 1933, Heft 9).

In der „Anleitung für den Bau und die Unterhaltung von Radsätzen der Eisenbahnfahrzeuge hinsichtlich der Schrumpf- und der Preßsitzverbindung“ sind die Erkenntnisse zusammengestellt, die beim Bau der Radkörper und Bereifungen zu beachten sein werden, um möglichst zweckentsprechende Radsätze zu erhalten. Sie werden unter der Bezeichnung „Richtlinien für den Bau und die Unterhaltung von Radsätzen der Eisenbahnfahrzeuge hinsichtlich der Schrumpf- und der Preßsitzverbindung“ als Vereinsdrucksache besonders herausgegeben. Die neuen Bestimmungen über das Schrumpfmaß in den TV werden in dem Nachtrag VII der TV zusammengefaßt, und zwar werden die in Betracht kommenden Absätze in § 50 der TV 1930 folgende neue Fassung erhalten:

7. Aufgeschumpfte Radreifen müssen mit dem Radkörper durch Sprengring oder Klammerring am ganzen Umfang durchlaufend verbunden sein.

8. Die Eindrehung im Radreifen für den Sprengring darf höchstens 12 mm tief sein.

9. Es wird empfohlen, das für die Schrumpfung anzuwendende Übermaß so zu wählen, daß das nach Blatt 16a ermittelte Grenzübermaß für die Schrumpfungverbindung nicht überschritten wird.

Als Blatt 16a wird eine neue Zeichnung mit der Aufschrift „Schaubilder und Anweisung zur Bestimmung des Grenzübermaßes ε_g der Schrumpfungverbindung in Promille für Scheibenradkörper und für Speichenräder der Regelbauart“ den TV beigelegt.

3. Prüfung der Frage, bis zu welchem Maß die dem Federspiel folgenden Teile eines Fahrzeugs während der Fahrt herabreichen dürfen (§ 48 der TV).

Die Angelegenheit war in den beteiligten Fachausschüssen vorberaten worden. Eine Verständigung konnte aber in einer gemeinsamen Sitzung nicht erzielt werden. Der Bautechnische Fachausschuß forderte, daß die für die Unregelmäßigkeiten am Oberbau als Abzüge vom waagerechten Abstand zwischen Wagenbegrenzungslinie und Regellichtraum (130 mm) angegebenen Größenmaße nach den Beschlüssen des Technischen Ausschusses im Interesse der Betriebssicherheit ungekürzt erhalten bleiben. Der Lokomotivbau-Fachausschuß vertrat den Standpunkt, daß sich die Lokomotiven in den Bögen grundsätzlich anders einstellen als die Wagen, so daß die für Wagen vorgeschlagene neue Begrenzungslinie für Lokomotiven nicht angewandt werden könne. Der Wagenbau-Fachausschuß war der Ansicht, daß der bisher verfügbare sogenannte dynamische „Raum“ im Höhenbereich von 430 mm über SO nicht bis zu $\frac{2}{3}$ für die Unregelmäßigkeiten am Oberbau, größte Fahrzeugausladungen in der Geraden usw. ausgenutzt werden könnte, denn bei Einführung einer dynamischen Begrenzung in dem vom Bautechnischen Fachausschuß geforderten waagerechten Abstand von nur 40 mm von der statischen Wagenbegrenzungslinie ist kein genügender Raum mehr zur Deckung des Federspiels und der sonstigen Unregelmäßigkeiten an den Wagen vorhanden. Es würden durch die neue dynamische Linie Abänderungen an den vorhandenen Wagen erforderlich und der Entwicklung neuer Wagen Hindernisse in den Weg gelegt werden. Zudem müßten die nach der Transitlinie der TE

gebauten vereinsfremden Güterwagen beim Übergang in das Vereinsgebiet zurückgewiesen werden, wenn sie — was nach der TE zulässig ist — die dynamische Begrenzungslinie überschreiten. Auch kann eine für die Fahrt gegebene dynamische Spielraumlinie beim Grenzübergang nicht nachgeprüft werden. Schließlich ist eine ausreichende rechnerische Grundlage zur Ermittlung der tatsächlichen dynamischen Spielraumlinie eines Wagens nicht restlos erfaßbar. Die bisherigen Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß der Raum zwischen Umgrenzungslinie des Lichttraumes und der statischen Begrenzungslinie der Fahrzeuge für alle Unregelmäßigkeiten und Schwingungen am Fahrzeug und am Oberbau ausreicht.

Aus diesen Erwägungen wurde im Einvernehmen mit dem beteiligten Bautechnischen Fachausschuß, Wagenbau-Fachausschuß, Lokomotivbau-Fachausschuß und Elektrotechnischen Fachausschuß beantragt, von der Einführung einer dynamischen Spielraumlinie abzusehen. Der Technische Ausschuß stimmte dem zu.

4. Behandlung von Fragen der Rundfunkstörungen durch Bahnanlagen.

Der Technische Ausschuß stimmte einem Entwurf für „Leitsätze für Maßnahmen an Maschinen, Geräten und Leitungsanlagen des Eisenbahnbetriebes zur Verminderung von Funkempfangsstörungen“ zu. Diese Drucksache wird vom Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen besonders herausgegeben werden. Die „Leitsätze“ enthalten in ihrem ersten Abschnitt allgemeine Angaben für die Beurteilung von Funkempfangsstörungen und über Entstörungsmaßnahmen an den Funkempfangsanlagen. Im zweiten Abschnitt sind Entstörungsmaßnahmen an Fernmelde-, Block- und Sicherungseinrichtungen, im dritten Abschnitt solche Maßnahmen an Leitungsanlagen und im vierten Abschnitt an Einrichtungen des elektrischen Zugbetriebes angegeben. Der fünfte Abschnitt enthält Beispiele für Entstörungsmaßnahmen an Fernmelde-, Block- und Sicherungsanlagen.

5. Beschlußfassung über fertiggestellte Teile des Kommentars für die TV und Grz.

Der Technische Ausschuß hat einer vom Wagenbau-Fachausschuß vorgelegten Abhandlung über „Räder, Achswellen und Radsätze“ zugestimmt. Sie wird als Kommentar zu den zugehörigen Bestimmungen der TV und Grz vom Verein herausgegeben werden.

6. Regelung der verkehrsdienstlichen Fragen bei Gütern, deren Beförderung außergewöhnliche Schwierigkeiten verursacht.

In gemeinsamer Arbeit des Technischen Ausschusses, des Wagenaussschusses und des Güterverkehrsausschusses ist ein „Übereinkommen über die Beförderung außergewöhnlicher Sendungen“ geschaffen worden, das vor allem Bestimmungen über die Art der Verständigung enthält, die eine rasche und reibungslose Überprüfung der Übergangs- und Beförderungsmöglichkeiten ergeben. Als außergewöhnliche Sendungen wurden nicht allein die Fälle des VWÜ § 2 Ziffer 4, sondern auch Eisenbahnfahrzeuge, die auf eigenen Rädern rollen und deren Beförderung außergewöhnliche Schwierigkeiten verursacht, und die Fälle, daß die Höchstgeschwindigkeit eines solchen Fahrzeugs geringer ist als die Geschwindigkeit der auf der Beförderungsstrecke fahrenden gewöhnlichen Güterzüge, besonders aufgeführt.

7. Änderung des § 60 Ziffer 6 der TV betreffend Bremserhaus.

Es wurde beschlossen, die Bestimmung der TV im § 60 Ziffer 6 zweiter Absatz wie folgt zu ändern:

„Behälterwagen (Kesselwagen, Topfwagen und andere) müssen Handbremse haben. Mindestens 25% dieser Wagen müssen außerdem ein Bremserhaus, die übrigen einen Bremserstand haben.“

8. Studium der Frage der Vermeidung kurzer Zwischengeraden zwischen entgegengesetzt gerichteten Übergangsbögen.

Die Bestimmungen der TV im § 4⁵ und § 20⁴ (zweiter Unterabsatz) und die Bestimmungen der Grz im § 4⁵ und § 20⁴ (zweiter Unterabsatz), in denen die Zwischengeraden zwischen Übergangsbögen von Gegenbögen behandelt werden, wurden neu gefaßt wie folgt:

TV § 4.

1. bis 4. unverändert.

5. Bei Neu- und Umbauten sollen in durchgehenden Hauptgleisen zwischen zwei in entgegengesetztem Sinn gekrümmten Bögen kurze Zwischengerade vermieden werden (vergl. § 20⁴). Kann eine solche nicht vermieden werden, dann soll sie zwischen den Übergangsbögen mindestens $\frac{V}{2}$ m lang sein, wobei V die größte Fahrgeschwindigkeit in km/h ist.

§ 20.

4. Erster Absatz unverändert.

Ist zwischen den Übergangsbögen entgegengesetzt gerichteter Bögen keine Zwischengerade vorhanden (vergl. § 4⁵), so soll die Überhöhung jedes Bogens vom Ende dieses Bogens bis zum Anfang des anderen Bogens gleichmäßig auslaufen.

Grz § 4.

1. bis 4. unverändert.

5. Bei Neu- und Umbauten sollen in durchgehenden Hauptgleisen zwischen zwei in entgegengesetztem Sinn gekrümmten Bögen kurze Zwischengerade vermieden werden (vergl. § 20⁴). Kann eine solche nicht vermieden werden, dann soll sie zwischen den Übergangsbögen mindestens $\frac{V}{2}$ m lang sein, wobei V die größte Fahrgeschwindigkeit in km/h ist.

§ 20.

4. Erster Absatz unverändert.

Ist zwischen den Übergangsbögen entgegengesetzt gekrümmter Bögen keine Zwischengerade vorhanden (vergl. § 4⁵), so soll die Überhöhung jedes Bogens vom Ende dieses Bogens bis zum Anfang des anderen Bogens gleichmäßig auslaufen.

Außerdem wurde der Bautechnische Fachausschuß beauftragt, auch die Bestimmungen in den §§ 4⁶ und 20⁵ der TV und im § 20⁵ der Grz, die die Zwischengerade zwischen zwei in gleichem Sinn gekrümmten Bögen behandeln, sinngemäß abzuändern.

9. Anträge zur Neubearbeitung des Vereins-Personenwagenübereinkommens (VPÜ) und zur Änderung und Ergänzung des Übereinkommens über die gegenseitige Benutzung der Güterwagen (VWÜ)

waren vom Wagenübergangs-Fachausschuß vorberaten und z. T. selbständig abgeschlossen. Der Technische Ausschuß nahm die Berichte hierüber zustimmend zur Kenntnis. Die Angelegenheiten werden vom Wagenaussschuß weiterbehandelt.

10. Eine Reihe von Anträgen wird von den zuständigen Fachausschüssen noch weiter bearbeitet. Die Anträge sind z. T. erst neu zugewiesen, sie werden dem Technischen Ausschuß zur Beschlußfassung später vorgelegt werden.

11. Aufgehoben wurde die Drucksache „Sicherheitsvorschriften für die Einrichtung elektrischer Beleuchtung in Eisenbahnwagen.“ Es besteht kein Interesse mehr, vereinsseitig solche Bestimmungen aufzustellen, da sie von allen Vereinsverwaltungen in eigener Zuständigkeit geregelt werden.

12. Es wurden noch einige geringfügige Berichtigungen in den TV beschlossen, die im VII. Nachtrag enthalten sein werden, und schließlich wurde der Beirat für das „Org. Fortsch. Eisenbahnwes.“ ergänzt, so daß dieser nunmehr aus 16 Herren besteht.

Carus.

Ein vereinfachtes Verfahren zur theoretischen Untersuchung der Gleisverwerfung.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Hermann Meier, Berlin.

Hierzu 5 Abb. auf Tafel 28.

In den letzten Jahren ist bereits eine Anzahl von theoretischen Untersuchungen veröffentlicht worden*), die sich alle mit der sehr zeitgemäßen Frage beschäftigen, ob unsere Eisenbahngleise mit Langschienenoberbau beim Auftreten hoher Längskräfte noch eine genügende Lagesicherheit besitzen. So hervorragend einige dieser Arbeiten auch waren, gänzlich konnten sie doch nicht befriedigen, namentlich war es der praktische Eisenbahningenieur, der mit ihnen noch nichts Rechtes anzufangen wußte. In manchen von diesen Arbeiten haben sich die jeweiligen Verfasser darauf beschränkt, nur das Berechnungsverfahren zu erörtern; in anderen wurde wohl eine Stabilitätsuntersuchung durchgeführt, aber nur für bestimmte Fälle, meistens lediglich für die lotrechte Ausknickung. Allgemein war man sich darüber im Klaren, daß die theoretische Erfassung der Gleisverwerfung bei der Fülle der auftretenden Wirkungen die üblichen Genauigkeitsansprüche nicht erreichen kann, so sehr man sich auch mathematisch bemühen mag, und daß demnach die anfallenden Ergebnisse fast nur die Wertung von „Größenordnungen“ beanspruchen können und jedenfalls mit einiger Vorsicht hinzunehmen sind.

Die vorliegende Arbeit ist in dem Bestreben entstanden, erstens ein möglichst einfaches Verfahren zur Untersuchung der Gleisstabilität aufzustellen, das rasch und ohne Schwierigkeit für beliebige Gleisverhältnisse den Grad der Stabilität hinreichend genau bestimmen läßt und zweitens, praktische Vorschläge zu bringen, wie weit man auf einfache und wirtschaftliche Weise jedes Gleis, das gerade sowohl wie das gekrümmte, gegen Verwerfung sichert.

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit, bei der Besprechung der Theorie, wird zum Teil Bekanntes wiederholt. Es ist im übrigen versucht, das Wesentliche herauszustellen und den Gedankengang übersichtlich zu ordnen. Im zweiten Teil bei der Besprechung der Auswertung für die Praxis werden im Abschnitt IV die beiden angestrebten Ziele erschöpfend behandelt.

A. Theorie der Gleisverwerfung.

I. Grundsätzliches.

Unter Gleisverwerfung versteht man die betriebsgefährliche Zerstörung der Gleislage, hervorgerufen durch eine mehr oder weniger plötzliche Entspannung von Druckkräften, die sich in der Schiene ansammeln können. Hohe Druckkräfte entstehen besonders im Sommer in der Schiene durch Erwärmung, sofern die Schiene in ihrer Ausdehnung behindert ist. Die Erfahrung lehrt uns zu unterscheiden zwischen einer „selbsttätigen Gleisverwerfung“ und einer „Gleisverwerfung unter dem fahrenden Zug“. Die theoretische Klärung ist bei der erstgenannten Verwerfungsart hinlänglich genau möglich. Bei der zweiten dagegen fehlen uns sichere Werte über die Krafteinwirkungen des fahrenden Zuges. Wir sind daher gezwungen, hier reichlich grobe Schätzungen vorzunehmen. Die bisher veröffentlichten Arbeiten über das Stabilitätsproblem des Gleises beschäftigen sich ausschließlich mit der „selbsttätigen Verwerfung“. Die „Verwerfung unter dem fahrenden Zug“ ist jedoch die gefährlichere, d. h. die leichter zur Wirkung kommende. Man muß sie unbedingt in den Kreis der Betrachtungen hereinnehmen, setzt man sich als Endziel der theoretischen Untersuchung die Angabe von ausreichenden Maßnahmen, die das Gleis gegen betriebsgefährliche Verwerfungen sichern sollen. Im folgenden wird versucht, die „Gleisverwerfung unter dem fahrenden Zug“ in die allgemeine Theorie einzubauen, und zwar zum Schluß als eine Art Zusatz zur „selbsttätigen Verwerfung“ des Gleises.

Wir wollen uns hier nur mit dem lückenlosen Gleis befassen. Dies deshalb, weil die Betrachtungen einfacher sind als beim lückig verlegten Gleis. Das Trägheitsmoment des

Gleisrostes erfährt durch den Wegfall der Stoßlücken keine Unterbrechungen und die gefährlichen Längsdruckkräfte in der Schiene können in der Regel auf weite Strecken hin als gleichmäßig verteilt angesehen werden. Die für das lückenlose Gleis gewonnenen Ergebnisse lassen selbstverständlich in hohem Maße Rückschlüsse auf die Stabilität des lückig verlegten Gleises zu.

Wir wollen ferner in den nachstehenden Untersuchungen die Gleisverwerfung als einen rein elastischen Ausknickvorgang betrachten. Selbstverständlich kann eine Verwerfung des unter Druck stehenden Gleises auch dadurch eingeleitet werden, daß der Schienenwerkstoff über seine Quetschgrenze beansprucht wird. Die Untersuchung dieser Verwerfungsmöglichkeit läuft im wesentlichen darauf hinaus, die größte Druckspannung in der Schiene festzustellen und diesen Wert dann mit der Quetschgrenze des Schienenwerkstoffes zu vergleichen. Zum Schluß dieser Abhandlung wird in einem besonderen Kapitel diese Gegenüberstellung vorgenommen und dabei die Frage geprüft, welche der beiden Verwerfungsmöglichkeiten, der „elastischen“ oder der „plastischen“, in der Praxis die größere Wahrscheinlichkeit und damit der „Gefährlichkeitsvorrang“ zukommt und nach welcher Seite hin größere Sicherungsvorkehrungen notwendig sind.

Was den Ausknickvorgang selbst betrifft, so unterscheiden wir weiterhin zweckmäßig zwischen einer lotrechten Ausknickung und einer waagerechten Ausknickung des Gleises. Im Gegensatz zu den Ausknickvorgängen an einfachen Druckstäben, wo es sich bekanntlich „nur“ darum handelt, daß die außermittig angreifende Druckkraft den Verbiegungswiderstand des Stabes überwindet (Untersuchungen von Euler), wirkt bei der Ausknickung eines unter Druck stehenden Gleises einer lotrecht abhebenden Bewegung das Eigengewicht des Gleises aktiv entgegen und einer seitlich ausweichenden Bewegung stemmt sich der Querverschiebungswiderstand des Gleisrostes in der Bettung passiv entgegen. Die Knicklänge des Gleises selbst ist unbekannt und wird sich vermutlich im Verlauf der Ausknickung ändern. Diese Tatsachen machen die genaue theoretische Klärung des Verwerfungsvorganges außerordentlich schwierig.

Rein physikalisch betrachtet entspricht mit einiger Annäherung das lückenlose Gleis einem unendlich langen Stab, der auf einer Unterlage mit Reibung aufliegt. Wir nehmen dabei an, daß die Unterlage (Bettung) starr ist. Eigengewicht, Querschnittsabmessungen, Trägheitsmomente und die Anfangskrümmung des Stabes, sowie Druckkraft und Reibungswerte sind einzeln bestimmbar. In den folgenden Untersuchungen werden sie daher als bekannt vorausgesetzt.

Will man die Knickgefahr eines derartigen Stabes so genau wie möglich erfassen, so muß man die Biegelinie des Stabes für den kritischen Gleichgewichtszustand mit Hilfe einer Differentialgleichung ermitteln. Diese Aufgabe ist, je nachdem man die Stabilität in der waagerechten oder lotrechten Ebene untersucht, mit mehr oder weniger großen mathematischen Schwierigkeiten verbunden. Bei Benutzung einiger Annahmen ist sie lösbar. Diesen Weg beschritten Martinet (1) und Lederle (2) (Lederle hat sich nur mit der lotrechten Ausknickung befaßt).

Mit Hilfe der Energiemethode läßt sich andererseits ein sehr gutes Näherungsverfahren aufstellen, das den großen Vorzug der anschaulichen Klarheit besitzt. Bloch (3) hat in einem lesenswerten Aufsatz den Gebrauch der Energiemethode zur Lösung des Stabilitätsproblems erläutert. Der Verfasser (4) hat in einer früheren Arbeit die Energiemethode schon benutzt

*) Siehe Schriftennachweis (am Schluß).

und ebenso Professor v. Sanden (5) bei seinen Untersuchungen über die lotrechte Verwerfung des Gleises.

Es sei hier bereits darauf hingewiesen, daß am Schlusse der Untersuchung, wenn man zur Auswertung der theoretischen Ergebnisse schreitet, in die Formeln Zahlenwerte eingesetzt werden müssen von teilweise etwas zweifelhafter Größe; so z. B. für das waagerechte Trägheitsmoment des Gleisrostes oder für den Seitenverschiebewiderstand des Gleisrostes in der Bettung. Ferner ist es notwendig, den Betrachtungsbereich praktisch abzugrenzen, was nur durch eine mehr oder weniger grobe Schätzung geschehen kann. Im Hinblick auf diese Tatsachen erscheinen allzu große mathematische Genauigkeitsanstrengungen im theoretischen Teil überspitzt und unnötig. Die geringe Einbuße an Genauigkeit beim Gebrauch der Energiemethode spielt wirklich keine Rolle.

Die Energiemethode wird deshalb in den folgenden Untersuchungen wieder verwendet.

Die Näherung besteht hierbei im wesentlichen darin, daß für örtlich beschränkte Stabverbiegungen, die eine Ausknickung einleiten oder bereits darstellen, jeweils eine ganz bestimmte Form für die Biegelinie angenommen wird. Wir bezeichnen diese Stabverbiegungen als Störungen der Stablage gegenüber der geometrisch genauen Ausgangslage. Die Annahme der Biegelinie erfolgt nach Erfahrung und physikalischem Empfinden und wird sich so der unbekannten, wirklichen Biegelinie recht gut nähern. Auf dieser Voraussetzung aufbauend, gilt es nun Energiewerte zu vergleichen. Die zur Erzeugung der Störung notwendigen werden verglichen mit denen, die bei der Störung auf Grund der vorhandenen Druckkraft frei werden. Ausknicken tritt ein, sobald das Freiwerden an Energie den für die Fortführung der Störung augenblicklich notwendigen Energieaufwand überwiegt.

Es dürfte für das Verständnis zweckmäßig sein, zunächst die Stabilitätsverhältnisse an einem endlichen Stab von hinreichender Länge zu prüfen. Mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen ist es dann nicht mehr schwer, das Untersuchungsverfahren für den unendlichen Stab und damit für das lückenlose Gleis aufzustellen.

II. Die Stabilität des endlichen Stabes.

Bezeichnungen:

- P_0 = Druckkraft im Stab (Ausgangszustand),
 l = Abstand der Einspannstellen (= Knicklänge),
 E = Elastizitätszahl des Stabwerkstoffes,
 J = Trägheitsmoment des Stabes in der Verbiegungsebene,
 F = Querschnitt des Stabes,
 g = Eigengewicht der Längeneinheit des Stabes,
 w = Seitenverschiebewiderstand der Längeneinheit des Stabes,
 R = Halbmesser der Stabachse in der ungestörten Ausgangslage,
 λ = Stabverlängerung bei Störung im Sinne der Biegelinie,
 f = Größte Abweichung der Stabachse von der Ausgangslage.

Wahl der Biegelinie.

Biegelinie 1: Die „wahrscheinliche Form“ der Biegelinie bei der lotrechten Ausknickung des geraden oder in der lotrechten Ebene gekrümmten Stabes und bei der waagerechten Ausknickung des in der waagerechten Ebene gekrümmten Stabes ist eine einfache Sinuswelle. Sie wird den einschlägigen Untersuchungen zugrunde gelegt und als Biegelinie 1 bezeichnet. In Abb. 1 ist sie für den allgemeinen Fall des gekrümmten Stabes dargestellt; der gerade Stab gilt als Sonderfall ($R = \infty$).

Wie bei Gruenewaldt (6) und Bloch (3), so seien auch hier zur Berechnung der Verlängerung λ folgende Beziehungen verwendet:

$$y_1 = \frac{x(l-x)}{2R} \quad y = \frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right)$$

$$\bar{y} = y_1 + y$$

$$\lambda = \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{d\bar{y}}{dx} \right)^2 dx - \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx$$

Die Werte von y_1 und $\bar{y}$ eingesetzt, liefern:

$$\lambda = \frac{f^2 \pi^2}{4l} + \frac{fl}{2R}.$$

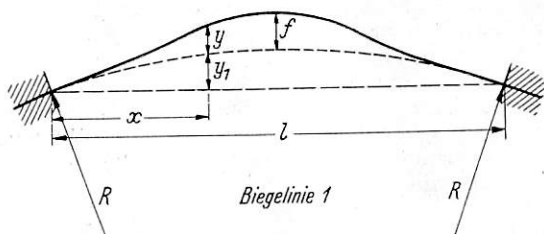


Abb. 1.

Biegelinie 2: Die „wahrscheinliche Form“ der Biegelinie bei der waagerechten Ausknickung des geraden Stabes ist eine doppelte Sinuswelle, deren eine Hälfte nach links, deren andere Hälfte nach rechts ausbaucht. Den einschlägigen Untersuchungen wird eine aus mehreren Sinuslinien zusammengesetzte Kurve zugrunde gelegt (siehe Abb. 2). Sie wird als Biegelinie 2 bezeichnet.

$$x = 0 \text{ bis } x = \frac{l}{3} \quad y = \frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{3\pi x}{l} \right)$$

$$x = \frac{l}{3} \text{ bis } x = \frac{2}{3}l \quad y = -f \cos \frac{3\pi x}{l}$$

$$x = \frac{2}{3}l \text{ bis } x = l \quad y = -\frac{f}{2} \left(1 - \cos \frac{3\pi x}{l} \right).$$

Wie Gruenewaldt (6) in seinem Aufsatz entwickelt, ergibt sich:

$$\lambda = \frac{9 \pi^2 f^2}{8l}.$$

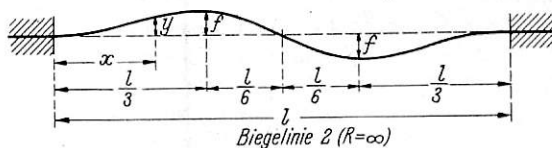


Abb. 2.

Die Arbeitsanteile.

Wird die Stablage gestört durch Verbiegen im Sinne der Biegelinie, so muß eine Arbeit geleistet werden, die sich in folgende Anteile zerlegen läßt:

1. A_b = Verbiegungsarbeit $A_b = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{M^2}{EJ} dx$.
2. A_h = Hubarbeit $A_h = g \int_0^l y dx$.
3. A_w = Seitenverschiebearbeit $A_w = w \int_0^l y dx$.
3. A_v = Verlängerungsarbeit $A_v = \frac{1}{2} \lambda \frac{EJ}{l} \lambda$.

Diese Arbeiten speichern sich im Stab als potentielle Energie mit rückwärtsgerichteter Entladungstendenz auf. (Bei waagerechter Verbiegung geht A_w als Reibungsarbeit verloren!)

Im Gegensatz zu diesen drei Arbeitsanteilen, die jeweils zu leisten sind, steht die bei der Verbiegung freiwerdende Energie.

$$A_p = \text{Arbeit der Druckkraft } P_0; \quad A_p = P_0 \cdot \lambda.$$

(In dieser Gleichung bleibt P_0 konstant. Der Entspannungsanteil $\Delta P = \frac{EF}{l} \cdot \lambda$ ist bereits als Verlängerungsarbeit A_v eingeführt). Die Energiegleichung läßt sich nun folgendermaßen anschreiben:

$$A_b + A_w + A_v - A_p = E.$$

(Bei lotrechter Verbiegung steht an Stelle von A_w der Ausdruck A_h).

In der Formelntafel 1 sind für die beiden Biegelinien die Formeln für die einzelnen Arbeitsanteile zusammengestellt. Sie wurden aus den oben angegebenen Gleichungen gewonnen.

Formelntafel 1.

	Biegelinie 1	Biegelinie 2
A_b	$\frac{4 \pi^2 E J}{l^2} \frac{f^2 \pi^2}{4 l} = K_1 \frac{f^2 \pi^2}{4 l}$	$\frac{9 \pi^2 E J}{l^2} \frac{9 \pi^2 f^2}{8 l} = K_2 \frac{9 \pi^2 f^2}{8 l}$
A_w	$w \frac{l f}{2}$	$w l f \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{1}{\pi} \right) = w l f 0,545$
A_h	$g \frac{l f}{2}$	—
A_v	$\left(\frac{f^2 \pi^2}{4 l} + \frac{f l}{2 R} \right) \frac{E F}{2 l}$	$\left(\frac{9 \pi^2 f^2}{8 l} \right) \frac{E F}{2 l}$
A_p	$P_0 \frac{f^2 \pi^2}{4 l} + \frac{P_0 f l}{R \cdot 2}$	$P_0 \frac{9 \pi^2 f^2}{8 l}$

$$\text{Der Wert } \frac{P_0}{R}.$$

Wird ein gekrümmter Stab mit einer Axialkraft P (kg) belastet, so kann er seine Form nur dann beibehalten, wenn gleichzeitig radial wirkende Kräfte q (kg/cm) auftreten, die bei konstantem Halbmesser der Stabform gleichmäßig über die Stablänge verteilt sind (siehe Abb. 3).

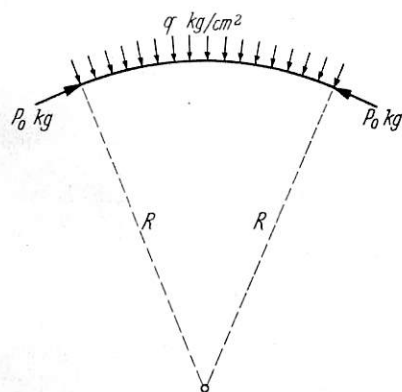


Abb. 3.

Hat man es mit einer waagerechten Stablage zu tun, so muß q durch den Seitenverschiebewiderstand w aufgebracht werden. Bei lotrechter Stabkrümmung muß das Stabeigengewicht g die notwendigen Gegenkräfte q liefern.

Wie aus Abb. 4 ohne weiteres entnommen werden kann, ist:

$$\frac{P}{q \, ds} = \frac{R}{ds} \quad \frac{P}{R} = q.$$

In der oben angegebenen Formel für A_p ist der Wert $\frac{P_0}{R}$ enthalten. Er stellt also nichts anderes dar, als eine radial wirkende Reaktionskraft vom Charakter des Seitenverschiebewiderstandes oder des Eigengewichtes.

Ist $\frac{P_0}{R} > w$, dann kann der Stab seine Form nicht beibehalten. Er entspannt sich mit dem Anwachsen der Axial-

kraft allmählich. Ist der Stab genügend lang und genügend steif, so tritt keine wesentliche Verbiegung ein, sondern nur eine Seitenverschiebung, und zwar bei Druck nach außen, bei Zug nach innen.

Ähnlich liegen theoretisch die Verhältnisse, wenn $\frac{P_0}{R} > g$.

Das kritische Störungsmaß f' .

Die Aufgabe der Stabilitätsuntersuchung besteht darin, festzustellen, ob bei gegebenen Verhältnissen der Stab überhaupt ausknicken kann, und wenn dies zutrifft, wie groß die Störung sein muß, von der an das selbsttätige Ausknicken beginnt. Es handelt sich bei diesen Störungen um durchaus endliche Werte. Als Maß der Störungen kann f oder λ verwendet werden. Wir wählen f der leichteren Anschaulichkeit wegen. Die oben angegebenen Formeln der Arbeitsanteile sind bereits in diesem Sinne geformt. l ist beim endlichen Stab unserer Betrachtung konstant.

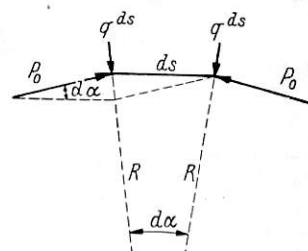


Abb. 4.

Das kritische Störungsmaß f' stellt die Störung dar, von der an das Ausknicken beginnt.

f' findet man nun nicht, indem man in der Energiegleichung $E = 0$ setzt. Es kommt bei den Stabilitätsuntersuchungen nicht auf die jeweilige Größe von E an, sondern wie Bloch (3) in seinem Aufsatz so überaus klar darstellt, auf die jeweilige Änderung von E im Zuge der fortschreitenden Störung. $\frac{dE}{df}$ ist das Bestimmende.

Es dürfte die Vorstellung erleichtern, wenn man sich die Differentialquotienten der einzelnen Arbeitsanteile $\frac{dA}{df}$ als Ersatzkräfte S denkt, die an der Stelle und in der Richtung von f wirken. $dA = S \cdot df$. Der Energievergleich vereinfacht sich dadurch zu einem Kräftevergleich (siehe Abb. 5).

$$S_b + S_w + S_v - S_p = S_r.$$

Im folgenden sei eine bestimmte Störung f betrachtet und geprüft, ob $S_b + S_w + S_v \geq S_p$.

$S_b + S_w + S_v > S_p$: S_r ist positiv. Zur Weiterführung der Störung ist eine zusätzliche Kraft von außen nötig, die ein klein wenig größer als S_r sein muß.

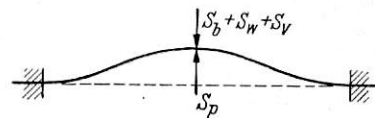


Abb. 5.

$S_b + S_w + S_v < S_p$: S_r ist negativ. Der Zustand des Ausknickens ist bereits vorhanden. S_r stellt den Anteil (Rest) von S_p dar, der zur Bewegung (Beschleunigung) gebraucht wird.

$S_b + S_w + S_v = S_p$: Dies ist der kritische Übergang; $S_r = 0$; $E = E_{\max}$. Man hat es mit einem Gleichgewichtszustand zu tun. Das Gleichgewicht hat zunächst labilen Charakter; bei lotrechter Ausknickung (S_h an Stelle S_w) nach beiden Bewegungsrichtungen; bei waagerechter Ausknickung nur nach außen; bei Rückwärtsverbiegung wirkt S_w im gleichen Sinne wie S_p .

Das kritische Störungsmaß f' bestimmt sich also aus der Gleichung $S_b + S_w + S_v = S_p$.

In der Formelntafel 2 sind für die beiden Biegelinien die Formeln für die Ersatzkräfte zusammengestellt.

In Abb. 6 ist die Beziehung zwischen den Ersatzkräften und dem Maß der Störung f aufgetragen, und zwar für die Verhältnisse bei Biegelinie 1. (Für Biegelinie 2 wird das Schaubild ähnlich.) Es ist angenommen, daß $S_w > S_p''$ und $S_p' > S_b$.

Formelntafel 2.

	Biegelinie 1	Biegelinie 2
S_b	$K_1 \frac{\pi^2}{21} f$	$K_2 \frac{9\pi^2}{41} f$
S_w	$w \frac{1}{2}$	$w 1,0,545$
S_h	$g \frac{1}{2}$	—
S_v	$\frac{E F}{21} \left(\frac{\pi^4}{41^2} f^3 + \frac{3\pi^2}{4R} f^2 + \frac{1}{2R} \cdot f \right)$	$\frac{E F \pi^4 81}{21 \cdot 16 \cdot 1^2} f^3$
S_p	$P_0 \frac{\pi^2 f}{21} + \frac{P_0}{R} \frac{1}{2}$	$P_0 \frac{9\pi^2}{41} f$
	$S_p' + S_p''$	

Es ist klar ersichtlich, daß, solange $f < f'$ ist, die Kraft S_r positiv ist, also keine Gefahr des Ausknickens besteht, daß andererseits mit dem Überschreiten von f' S_r negativ wird

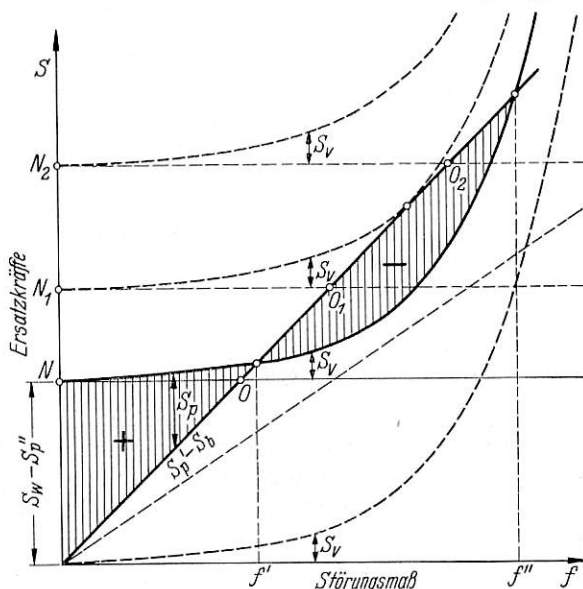


Abb. 6.

und damit der Zustand des Ausknickens gegeben ist. Bei f' herrscht der labile Gleichgewichtszustand vor dem Ausknicken; bei f'' der stabile Gleichgewichtszustand nach dem Ausknicken.

Es ist ferner noch der Einfluß der Änderung von w kurz angegeben (bei g ähnlich).

Erstens Steigerung von w auf w_1 bzw. w_2 : Mit Anwachsen von w wächst auch S_w . Der Punkt N des Schaubildes rückt nach oben, nach N_1 bzw. N_2 . Die durch S_v erzeugte Kurve schneidet für $w = w_2$ die schräge Gerade überhaupt nicht mehr. S_r bleibt stets positiv. Es liegen „vollkommen knicksichere“ Verhältnisse vor. Für $w = w_1$ berührt die Kurve. Wir haben es hier mit einem Grenzfall zu tun. „Vollkommene Knicksicherheit“ läßt sich natürlich auch durch Änderung von P_0 oder J erreichen. Im Schaubild bedeutet es eine Neigungsänderung der schrägen Geraden.

Zweitens Senkung von w auf den Wert $\frac{P_0}{R}$: $S_w = S_p''$;

der Punkt N fällt in den Koordinatenursprung. Wenn $S_p' > S_b$ d. h. $P_0 > K$, tritt bei der geringsten Ungenauigkeit sofort Ausknicken ein.

Bis hierher wurde den Stabilitätsbetrachtungen immer der Fall des endlichen Stabes zugrundegelegt, bei dem die Einspannstellen fest und unbeweglich sind.

Nun sei noch kurz der Fall besprochen, bei dem eine Einspannstelle Längsbewegungen in der Wirkungslinie von P_0 durchführen kann (siehe Abb. 7). Für diesen Fall werden, wie ohne weiteres einzusehen ist, $A_v = 0$ und damit $S_v = 0$. Es tritt keine Entspannung ein. Wie ferner aus der Abb. 6 leicht entnommen werden kann, ist die Knickgefahr hier größer. f' wird gegenüber dem vorigen Betrachtungsfall kleiner. Den theoretischen Zustand „vollkommener Knicksicherheit“ gibt es nicht mehr. Sofern $P_0 > K$, erhält man stets einen Schnittpunkt (0) und damit einen Wert f' . Einen Gleichgewichtszustand nach dem Ausknicken gibt es ebenfalls nicht mehr. Der Stab wird zerstört.



Abb. 7.

Für den Stabilitätsfall des endlichen Stabes mit einem freien, längsverschiebblichen Ende läßt sich die Formel für f' leicht ermitteln:

Formelntafel 3.

$$f' = \left(w - \frac{P_0}{R} \right) \frac{l^2}{\pi^2} \quad \text{für Biegelinie 1}$$

$$f' = \frac{w l^2 0,0245}{P_0 - K_2} \quad \text{für Biegelinie 2}$$

Anmerkung.

Es wird von manchem Leser wahrscheinlich begrüßt werden, wenn er sich an Hand der Formelntafel 2 und an Hand von Abbildungen, ähnlich Abb. 6, die verschiedenen Stabilitätsmöglichkeiten eines endlichen Stabes mit einem freien längsverschiebblichen Ende nochmals rasch vergegenwärtigen kann (beim endlichen Stab mit zwei festen Enden sind die Betrachtungen ähnlich).

1. Gerader Stab ohne Reibung.

Es bestehen nur die beiden Ersatzkräfte S_b und S_p' . Ausknicken tritt plötzlich ein, sobald mit dem Anwachsen von P_0 der Wert S_p' den Wert S_b überschreitet. ($P_0 = K$; Eulersche Knickformel!)

2. Gekrümmter Stab ohne Reibung.

Es bestehen die Ersatzkräfte S_b , S_p' und S_p'' (siehe Abb. 7 a). Anfangs bei kleinem P_0 ist auf alle Fälle S_p' kleiner als S_b . Da jedoch S_p'' als verbiegungsfördernde Kraft unabhängig von f auftritt, wird eine Verbiegung erzeugt, die jeweils bei f' ein stabiles Gleichgewicht hat. Mit dem Anwachsen von P_0 wird die Verbiegung rasch vergrößert; für $S_p' = S_b$ ist sie theoretisch bereits unendlich.

Beim gekrümmten Stab ohne Reibung (bzw. ohne Eigengewicht) tritt kein plötzliches Ausknicken ein, sondern ein allmähliches Ausweichen, das mit dem Einsetzen von P_0 gleich von Anfang an schon beginnt.

3. Gerader Stab mit Reibung.

Es bestehen die Ersatzkräfte S_b , S_w und S_p' ; S_p' sei bereits größer als S_b (siehe Abb. 7 b). Der Stab liegt in der Anfangslage stabil. Es ist eine künstliche Störung bis f' nötig, um ein Ausknicken zu erreichen. Mit dem Anwachsen von P_0 vergrößert sich nur S_p' ; für $P_0 = \infty$, wäre $f' = 0$.

4. Gekrümmter Stab mit Reibung.

Es bestehen die Ersatzkräfte S_b , S_w , S_p' und S_p'' . Hier müssen wir zwei verschiedene Fälle unterscheiden (siehe Abb. 7 c und 7 d).

Die Ersatzkräfte S_b und S_w sind von P_0 unabhängig. Wird bei anwachsendem P_0 der Wert $\frac{P_0}{R} = w$, also $S_p'' = S_w$, dann ist zu prüfen, ob $S_p' \geq S_b$.

Ist $S_p' < S_b$, also $P_0 < K$, dann erhalten wir bei weiterem Anwachsen von P_0 ein allmähliches Ausweichen des Stabes (Abb. 7 e).

Ist $S_p' > S_b$, also $P_0 > K$, dann erhalten wir bei der geringsten Ungenauigkeit ein plötzliches Ausknicken des Stabes (Abb. 7 d). Schon bei kleineren Werten von P_0 , also $\frac{P_0}{R} < w$, kann durch

künstliche Störung die Stabausknickung herbeigeführt werden (Fall Abb. 6).

Die Frage $P_0 \geq K$ wird bei gleichbleibendem l in erster Linie entschieden durch die Größe von J .

Bei großem J = allmähliches Ausweichen,
bei kleinem J = plötzliches Ausknicken ($J = 0$, wenn der Stab durch eine Kette ersetzt wird).

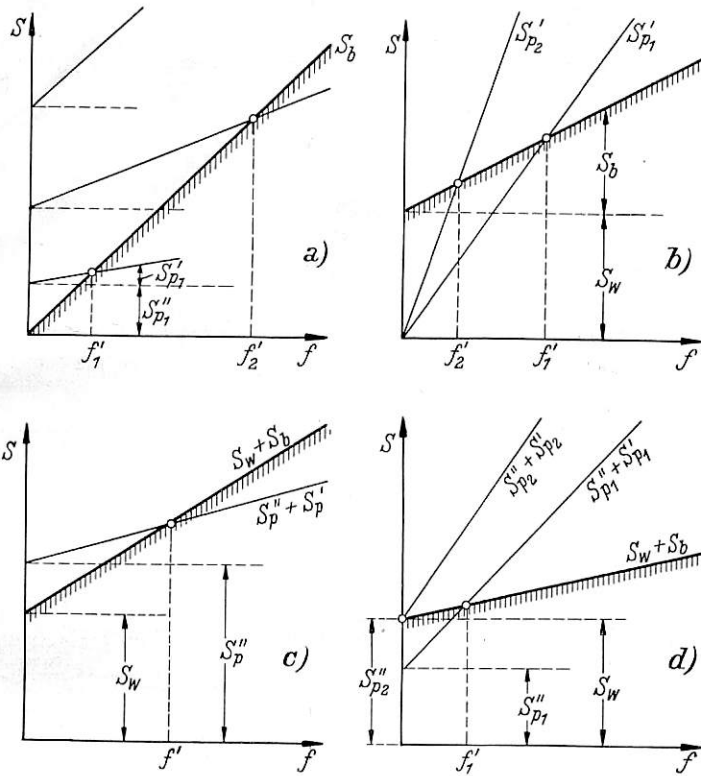


Abb. 7a bis d.

III. Die Stabilität des unendlichen Stabes.

Genauere Untersuchungsmethode.

Die Untersuchungen des unendlichen Stabes unterscheiden sich von denen des endlichen Stabes in erster Linie durch die Tatsache, daß die Knicklänge l unbekannt ist. Die Knicklänge wird sich vermutlich auch im Verlauf der Ausknickung ändern. Beim unendlichen Stab ist ferner hinsichtlich der Entspannung der Druckkraft P_0 noch eine besondere Annahme nötig.

Der Verfasser (4) hat vor einiger Zeit eine Untersuchung durchgeführt, bei der angenommen wurde, daß P_0 über die ganze Knicklänge gleichmäßig auf einen Wert P_0 abnimmt und in den Anschlußstrecken der Wert P_0 in Abhängigkeit von der Größe des Längsverschiebungswiderstandes geradlinig wieder auf P_0 ansteigt. Ferner wurde in dieser Untersuchung Wert darauf gelegt, die Veränderlichkeit von l zu erfassen. Von den unendlich vielen Störungsmöglichkeiten wurde als ungünstigster Störungsverlauf derjenige festgelegt, bei dem stets das „Prinzip des geringsten Widerstandes“ herrscht. Der Untersuchungsvorgang war kurz folgender:

Als Maß der Störung wurde λ gewählt. Für ein bestimmtes λ wurde auf graphisch-rechnerischer Weise dasjenige l bestimmt, bei dem die aufzuwendende Arbeit ein Minimum war. Dies für mehrere λ durchgeführt, ergab die Beziehung $\varphi(\lambda, l)$ des ungünstigsten Störungsverlaufes. Dieses $\varphi(\lambda, l)$ wurde nun allein weiter verwendet bei der Auftragung der Energiekurve. $E_{\max}$ wurde zeichnerisch ermittelt; derart wurden die kritischen Störungswerte (λ', f', l') gefunden. Der Verlauf der Energiekurve läßt gewisse Rückschlüsse auf das Verhalten des Gleises bei äußeren Krafterwirkungen zu.

Wie man sich leicht vorstellen kann, ist diese Untersuchungsmethode sehr mühsam. Sie wurde für eine Anzahl

Möglichkeiten am durchgehend geschweißten Gleis angewendet unter Zugrundelegung der Biegelinie 1. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (4).

Professor v. Sanden (5) schlug bei seinen Untersuchungen über die lotrechte Ausknickung einen ähnlichen Weg ein. Er benutzte dieselbe Entspannungsannahme und suchte die kritischen Störungen aus den Gleichungen $\frac{\partial A}{\partial f} = 0; \frac{\partial A}{\partial l} = 0$.

Die Auswertung ist auf bildlich-rechnerischer Weise möglich. Auch hier lassen sich Ergebnisse nur mühsam gewinnen.

Vereinfachte Untersuchungsmethode.

1. Es wird die Entspannung der Druckkraft vernachlässigt.

Hinsichtlich der Entspannung liegen die Verhältnisse beim unendlichen Stab, wie leicht einzusehen ist, zwischen den beiden Fällen, die bei der vorstehenden Stabilitätsbetrachtung des endlichen Stabes beschrieben wurden. Beim unendlichen Stab ist am Ende der Knickstrecke weder eine feste, unverschiebbare Einspannstelle vorhanden, noch ist eine freie Verschieblichkeit des Endpunktes in der Wirkungsline von P_0 möglich. Die Größe der Entspannung wird, wie bereits genügend erläutert, durch den Wert S_v dargestellt; beim unendlichen Stab kommt noch ein Wert S_1 hinzu. S_1 ist die Ersatzkraft aus der Nachrückarbeit der Anschlußstrecken. Es ist nun grundsätzlich folgendes festzustellen:

Bei Stabilitätsuntersuchungen des Eisenbahngleises hat es keinen Sinn, mit beliebig großen Störungsverhältnissen (f, l) zu rechnen. Es müssen die praktisch möglichen Höchstmaße gesucht und diese dann als Grenze eingeführt werden. Dies ist, wie später gezeigt wird, geschehen. In dem so festgelegten Betrachtungsbereich, der den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, ergeben sich nun für S_v sowohl, als auch für S_1 so geringe Werte im Vergleich zu S_w und S_b , daß man S_v und S_1 ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen, vernachlässigen kann. Durch die Vernachlässigung wird viel an Übersichtlichkeit gewonnen und obendrein wird „sicherer“ gerechnet.

2. Es wird die Veränderlichkeit der Knickstrecke im Verlauf der Ausknickung vernachlässigt.

Es wird die Stabilität für verschiedene, aber jeweils konstant bleibende l -Werte untersucht. Derjenige l -Wert, der den kleinsten f' -Wert ($f'_{\min}$) liefert, sei maßgebend. Das Untersuchungsverfahren wird dadurch außerordentlich vereinfacht. Ein Vergleich mit Ergebnissen der sogenannten genaueren Untersuchungsmethode zeigt nur geringfügige Abweichung.

3. Auf Grund dieser Voraussetzungen läßt sich nun folgende einfache Rechnung anstellen: f' nach Formelntafel 3; $\frac{df'}{dl} = 0$; hieraus l' = maßgebende Knicklänge;

l' eingesetzt in f' , ergibt $f'_{\min}$.

Formelntafel 4.

	Biegelinie 1	Biegelinie 2
l'	$2\pi \sqrt{\frac{2 EJ}{P_0}}$	$3\pi \sqrt{\frac{2 EJ}{P_0}}$
$f'_{\min}$	$\left(w - \frac{P_0}{R}\right) \frac{16 EJ}{P_0^2} *$	$w \cdot 8,7 \frac{EJ}{P_0^2}$

* Martinet (1) und Lederle (2) fanden für das gerade Gleis $f' = w \cdot 15,7 \frac{EJ}{P_0^2}$.

Man sieht, daß beim geraden Stab die Verwendung der Biegelinie 1 für waagerechte Ausknickung fast den doppelten Wert für $f'_{\min}$ ergeben würde.

Diese Formeln gelten für den gewöhnlichen Fall, daß $w > \frac{P_o}{R}$. Für $w = \frac{P_o}{R}$ ergibt sich keine maßgebende Knicklänge l' mehr; der Stab hat in diesem Falle zunächst das Bestreben, lediglich auszuweichen, ohne sich wesentlich zu verbiegen, da ja zur Erzeugung der Verbiegung Arbeit zu leisten wäre. Dies gilt auch, wenn der Stab genügend lang ist. Wird das gleichmäßige Ausweichen des Stabes jedoch stellenweise irgendwie behindert, so ergeben sich Verhältnisse wie bei einem endlich langen Stab (siehe voriges Kapitel Anmerkung); die Größe von J wird sehr wichtig!

4. Einfluß einer äußeren Kraft Q .

Die bisherigen Betrachtungen waren nur auf die selbsttätige Ausknickung abgestellt. Es ist jedoch zweckmäßig, für den Fall der waagerechten Ausknickung noch den Einfluß zu überprüfen, den eine in der waagerechten Ebene wirkende konstante Kraft Q erlangt, die an der Stelle der größten Ausbauchung der Störungswelle angreift, und zwar nach außen gerichtet, senkrecht zur Stabachse.

Q liegt an der Wirkungslinie der Ersatzkräfte.

Für Biegelinie 1 ist die Anordnung von Q klar. Für Biegelinie 2 dagegen wollen wir zugrunde legen, daß genau so wie die S -Werte, auch Q in ein Kräftepaar $2 \cdot \frac{Q}{2}$ zerlegt wird, das an den Stellen größter Ausbauchung im Sinne der Ausbauchung wirkt.

Es liegt nahe, Q in den Kräftevergleich der Ersatzkräfte mit einzubeziehen (siehe Abb. 5). Die kritische Störungslage für den neuen Belastungsfall läßt sich somit aus der Gleichung bestimmen:

$$S_b + S_w - S_p' - S_p'' - Q = 0.$$

Für den endlichen Stab mit einem freien, längsverschieblichen Ende läßt sich die Formel für f' leicht ermitteln.

Für Biegelinie 1 z. B. ist analog Formelntafel 3:

$$f' = \frac{\left(w - \frac{P_o}{R}\right) \frac{l^2}{\pi^2} - Q \frac{2l}{\pi^2}}{P_o - K_1}.$$

Für den unendlichen Stab ist gemäß der vereinfachten Untersuchungsmethode die maßgebende Knicklänge durch Differentiation zu bestimmen:

$$\frac{df'}{dl} = 0; \text{ daraus } l'.$$

Für Biegelinie 1 z. B. ergibt sich nun folgendes:

$$l' = 2 \pi a \sqrt{\frac{2 E J}{P_o}}$$

darin ist

$$a = \sqrt{\frac{\left(w - \frac{P_o}{R}\right) l - 1,5 Q}{\left(w - \frac{P_o}{R}\right) l - Q}}$$

für $Q = 0$ ist $a = 1$.

Die genaue Beachtung des Faktors a erschwert die weitere Berechnung ganz erheblich. Für den praktischen Fall der Eisenbahngleise hat es in Anbetracht der Tatsache, daß Q selbst einer groben Schätzung unterliegt, wenig Zweck, den Einfluß von Q auf die Knicklänge zu berücksichtigen. Wir setzen daher $a = 1$ und benutzen für beide Biegelinien dieselben Formeln für l' , wie sie schon in Formelntafel 4 angegeben sind.

Setzt man ferner je nach der Biegelinie

$$Q = w_q \frac{1}{2} \quad \text{bzw.} \quad Q = w_q l \cdot 0,545,$$

dann lassen sich die Ersatzkräfte S_w , S_p'' und Q zusammenfassen zu einem einfachen Ausdruck:

$$\text{für Biegelinie 1: } (w - w_r - w_q) \frac{1}{2}; \quad w_r = \frac{P_o}{R},$$

$$\text{für Biegelinie 2: } (w - w_q) l \cdot 0,545.$$

Die Formeln für die kritische Störung lauten nunmehr:

Formelntafel 5.

Für Biegelinie 1	$f'_{\min} = (w) \frac{16 E J}{P_o^2}$
Für Biegelinie 2	$f'_{\min} = (w) \frac{8,7 E F}{P_o^2}$

$$(w) = w - w_r - w_q.$$

B. Auswertung.

I. Bestimmung der Festwerte.

1. F = doppelter Schienenquerschnitt S 49 = 124,6 cm²
2. E = Elastizitätszahl des Schienenwerkstoffes = 2,1 10⁶ kg/cm²
3. J = Trägheitsmoment des Gleises für lotrechtes Ausknicken:

$J_1 = 2 \times \text{Trägheitsmoment}$

einer Schiene um die waage-

rechte Querschnittsachse = 3562 cm⁴

für waagerechtes Ausknicken (hier wird ein Ersatzträgheitsmoment eingeführt; d. i. das Trägheitsmoment eines gedachten eisernen Trägers, der bei gleicher Belastung und gleicher Stützweite dieselbe Durchbiegung erfährt wie der Gleisrost):

a) Unterer Grenzfall: Schiene reibungsfrei auf Unterlegplatte drehbar (bei Oberbau K mit gelockerten Klemmplättchen ungefähr zutreffend),

$J_w = 2 \times \text{Trägheitsmoment einer Schiene um die lotrechte Querschnittsachse} = 638 \text{ cm}^4$.

b) Oberer Grenzfall: Schiene vollkommen winkelsteif mit Schwelle verbunden (bei einem hochgradig rahmensteifen Oberbau mit Eisenschwellen zutreffend); der Gleisrost entspricht einem waagerecht liegenden Vierendeelträger);

J_w durch Rechnung überschlägig ermittelt = 200 000 cm⁴.

c) Oberbau K Klemmplättchen gut angezogen;

J_w durch Versuch bestimmt = 1340 cm⁴.

d) Hochgradig rahmensteifer Oberbau auf Holzschwellen (Schiene und Unterlegplatte vollkommen winkelsteif miteinander verbunden; die mit vier Schrauben auf der Holzschwelle befestigte Unterlegplatte gibt jedoch bei Verdrehungsbeanspruchung etwas nach);

J_w durch Versuch bestimmt = 17 000 cm⁴.

Zu c) und d). In einem Aufsatz des Verfassers „Beitrag zur Frage der Rahmensteifigkeit des Gleisrostes“ (7) ist u. a. die Durchführung dieser Versuche beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, daß die angegebenen J_w -Werte in Wirklichkeit nur beschränkten Gültigkeitsbereich besitzen.

Bei minder rahmensteifen Oberbauarten sind die J_w -Werte nicht durchweg gleichbleibend, sondern abhängig von der Verbiegungsbelastung. Solange diese Belastung noch sehr gering ist, ist J_w gleich dem eines hochgradig rahmensteifen Oberbaues. Mit ansteigender Biegebelastung tritt eine Verdrehung zwischen Schiene und Schwelle ein (d. i. das Kennzeichnende des minder rahmensteifen Oberbaues) und J_w sinkt rasch und für längere Zeit auf einen wesentlich kleineren Wert herab. Dieser Wert sei maßgebend. Erst wenn das Größtmaß an Verdrehung zwischen Schiene und Schwelle erreicht ist, steigt J_w wieder an. Sehr schöne Versuche dieser Art hat auch Professor Raab (17) angestellt und kürzlich veröffentlicht.

Die Formeln im vorstehenden Kapitel sind für ein gleichbleibendes Stabträgheitsmoment entwickelt worden. Wir führen als Ersatzträgheitsmoment für den Gleisrost den als maßgebend bezeichneten kleinsten J_w -Wert ein und verwenden ihn als gleichbleibend auch über seinen Gültigkeitsbereich hinaus. Damit wird sicher gerechnet.

4. Verschiebungswiderstände des Gleisrostes.

a) Gegen Hochheben g : Das Gleisgewicht für Oberbau K auf Holzschwellen beträgt $g = 2,6 \text{ kg/cm Gleis}$.

Durch Einschottern oder durch besondere Formgebung bei Eischwellen läßt sich der Widerstand gegen Hochheben steigern bis auf schätzungsweise $3,5 \text{ kg/cm Gleis}$.

b) Gegen Querverschieben w : In die Stabilitätsuntersuchung wird w als ein konstanter Wert eingeführt. In Wirklichkeit ändert sich w etwas mit der Verschiebung, wie besonders eingehend Dr. Nemsek (8), Budapest, untersucht hat. Der Genauigkeitsverlust durch die Annahme eines konstanten w dürfte erträglich sein. Zur Bestimmung von w wurden von den verschiedenen Seiten Messungen vorgenommen, deren Ergebnisse z. T. stark voneinander abweichen.

Aus der Veröffentlichung von Professor Dr. Amann (9) und Professor Dr. v. Gruenewaldt wird folgendes entnommen:

Normaler Holzschwellen-Oberbau K in Schotterbettung:
 $w = 8 \text{ kg/cm Gleis}$.

Normaler Eischwellen-Oberbau K in Schotterbettung:
 $w = 12 \text{ kg/cm Gleis}$.

Bringt man besondere Kappen an den Holzschwellen an, so läßt sich w um Δw steigern:

Kappen an allen Schwellen $\Delta w_1 = 16 \text{ kg/cm Gleis}$

Kappen an jeder zweiten Schwelle $\Delta w_2 = 8 \text{ „ „}$

Kappen an jeder dritten Schwelle $\Delta w_3 = 5,3 \text{ „ „}$

Kappen an jeder vierten Schwelle $\Delta w_4 = 4 \text{ „ „}$

Der Verfasser selbst hat vor mehreren Jahren Versuche angestellt, die allerdings wesentlich geringere Werte brachten:

Normaler Holzschwellen-Oberbau K in Schotterbettung:
 $w = 4,6 \text{ bis } 5,75 \text{ kg/cm}$.

Frei aufliegender Holzschwellen-Oberbau K auf Schotterbettung: $w = 1,3 \text{ kg/cm}$.

Unter „frei aufliegend“ sei verstanden, daß die Schwellenfächer leer sind und vor den Schwellenköpfen der Schotter entfernt ist.

Versuche von Professor Corini (10), Genua, brachten an dem etwas leichteren italienischen Oberbau noch geringere Werte.

5. P_0 = größte Längsdruckkraft im Gleis.

Druckkräfte entstehen in der Schiene bzw. im Gleis in erster Linie durch Erwärmung. Die Grenztemperaturen, denen die im Freien liegenden Eisenbahnschienen in Deutschland ausgesetzt sind, werden allgemein mit -30°C und $+60^\circ \text{C}$ angegeben. Die Größe der Druckkräfte ist beim lückig verlegten Gleis abhängig von den Verlegungsbedingungen und von der Schienenlänge (11), beim lückenlosen Gleis von der Wahl der sogenannten neutralen Temperatur (d. i. die Schienentemperatur, bei der keine Temperaturspannungen in der Schiene vorhanden sind). In Abb. 8 sind die Axialkräfte aufgetragen, wie sie im Gleis durch Temperaturveränderungen entstehen können, und zwar für das 30 m-Schienengleis und das lückenlose Gleis.

Schienen- und Gleiswanderungen können beim lückig verlegten Gleis dadurch, daß sich die Stoßlücken schon bei tiefen Temperaturen schließen, eine wesentliche Erhöhung der Druckkräfte verursachen. Mit der Verlängerung der Schiene nimmt die Gefahr der Schienenwanderung ab. Beim lückenlosen Gleis sind Wanderungen kaum mehr zu erwarten. Durch geeignete

Maßnahmen lassen sich die Wanderungen ganz verhindern. (Hoher Durchschubwiderstand der Schiene in der Auflagerkonstruktion; besondere Schwellenform in Steinschlagbettung; unter Umständen Anlage von Festpunkten in Gefälle- und Bremsstrecken.) Die Bremskräfte werden dann unmittelbar in die Bettung abgeleitet. Gut entwässerte Unterbaukrone ist für einwandfreie Aufnahme der Bremskräfte Voraussetzung; es dürfen sich keine Rutschflächen bilden.

Wir werden in die Stabilitätsberechnungen eine größte Druckkraft des Gleises $P_0 = 200 \text{ t}$ einsetzen. Wie aus Abb. 8 klar zu ersehen ist, enthält dieser Wert einen reichlichen Sicherheitszuschlag. Man kann wohl ruhig behaupten, daß dieser Wert auch unter ungünstigsten Verhältnissen in der Natur nie überschritten wird. (Ausgenommen sind selbstverständlich die besonderen Verhältnisse im Bergbaubereich. Hier können bei entsprechenden Bodensenkungen beliebig hohe Druckkräfte entstehen. Der Höchstwert liegt beim Erreichen der Quetschgrenze des Schienenwerkstoffes.)

Eine Verkleinerung der größten Druckkraft durch Hebung der neutralen Temperatur t_n über die mittlere Schienentemperatur ($+15^\circ$), wie sie vielfach vorgeschlagen wird, erfordert unter allen Umständen zunächst eine genaue Kenntnis über das Verhalten des lückenlosen Gleises bei Schienenbruch im strengen Winter, wenn das Gleis mit ungewöhnlich großen Zugkräften belastet ist. Erfahrungen darüber fehlen. Einwandfreie Versuche sind auch noch nicht angestellt worden. Von dieser Frage hängt aber im wesentlichen die endgültige Festlegung der neutralen Temperatur ab und damit die Größe der höchsten Druckkraft im Gleis.

Sollten sich die vom Verfasser bisher mehrmals geäußerten Bedenken gegen die Hochlegung der neutralen Temperatur im Verlauf der weiteren Forschung als zu Unrecht bestehend erweisen, dann könnte man, wie Abb. 8 zeigt, auch einen niedrigeren P_0 -Wert in die Stabilitätsberechnung einsetzen, z. B. $P_0 = 130 \text{ t}$. Die folgenden Berechnungen sind deshalb aus Vergleichsgründen nicht nur mit $P_0 = 200 \text{ t}$, sondern auch mit $P_0 = 130 \text{ t}$ durchgeführt.

II. Die Störungen der Gleislage.

Aus dem theoretischen Teil wissen wir, daß Störungen der Gleislage nötig sind, damit das unter Druck stehende Gleis selbsttätig ausknicken kann. Dies unter der Voraussetzung der rein elastischen Betrachtung. Wie wir später sehen werden, liegen die wesentlichen und gefährlichen Störungen nur in der waagerechten Ebene.

Wie können nun derartige Störungen entstehen? Es gibt eine ganze Anzahl von Ursachen. Kleine Bewegungen im Unterbau, die auf schlechte Entwässerung und Erschütterungen zurückzuführen sind; Ungleichmäßigkeiten im Seitenverschiebewiderstand; schlechte Verlegung und mangelnde Pflege des Gleises; Seitenstöße der Fahrzeuge; die Verwendung von schlecht kurvenläufigen Lokomotiven, sie erzeugen in den Gleisbogen die bekannten Verdrückungen (die gleichmäßige Krümmung verschwindet; der Bogen erhält flachere und

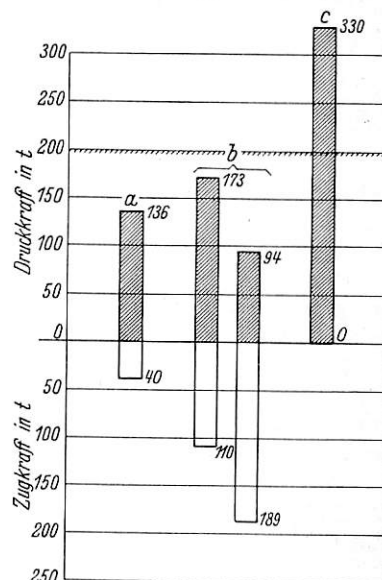


Abb. 8.

schärfere Krümmungen). Das Auftreten der Störungen wird, wie wir wissen, vom druckgespannten Gleis begünstigt.

Ist ein Gleis in seiner Lage gestört, und steht es unter Druck, so wird man zur Behebung der Störung am besten folgendermaßen vorgehen:

Man „öffnet“ die Störungswelle auf einen großen Krümmungshalbmesser und führt erst mit Eintreten tieferer Temperaturen das Gleis wieder in die richtige Lage zurück. Das „Öffnen“ der Störungswelle hat mit entsprechender Vorsicht zu geschehen. Unter Umständen empfiehlt es sich, das Gleis an der Stelle mit Wasser zu bespritzen, um vorübergehend die Temperatur und damit die gefährlichen Druckkräfte zu erniedrigen.

Bei der Aufstellung der vereinfachten Untersuchungsmethode ist bereits darauf hingewiesen worden, daß es notwendig sei, die Grenzen festzulegen, wie weit ein Betriebsgleis in seiner Lage tatsächlich gestört werden kann, ohne daß dies rechtzeitig entdeckt und Abhilfe geschaffen wird.

Man kann sich vorstellen, daß die Entdeckung der Störungen auf zwei Arten erfolgt: erstens durch den Streckengeher, zweitens beim Befahren im Zuge.

Um die Entdeckungsmöglichkeit durch den Streckengeher zu prüfen, wurden praktische Versuche vorgenommen. Es hat sich dabei herausgestellt, daß beim geraden Gleis eine einseitige Welle (im Sinne der Biegelinie 1) bei $f = 2,5$ cm; $l = 10$ m und bei $f = 3,5$ cm; $l = 30$ m, eine zweiseitige Welle (im Sinne der Biegelinie 2) bei $f = 2$ cm; $l = 14$ m und beim gekrümmten Gleis ($R = 500$ m) eine einseitige Welle bei $f = 3,5$; $l = 10$ m auch von einem unterdurchschnittlich aufmerksamen Streckengeher wegen ihrer Auffälligkeit entdeckt werden müssen. Auf Grund dieser ermittelten Werte wurden die in den Abb. 3 und 4, Taf. 28, eingezeichnete „Störungsgrenze“ durch Inter- oder Extrapolation gewonnen.

Beim Befahren der Störungsstelle wird man im Zuge, sofern die Störung groß genug und die Fahrgeschwindigkeit hoch genug sind, unter Umständen einen außergewöhnlich lästigen Ruck (Beschleunigungsänderung) empfinden, der den Anlaß zu einer sofortigen Meldung und zur Störungsbehebung bildet. Untersuchungen, ob diese Entdeckungsart häufiger ist als die vorgenannte, wurden nicht vorgenommen. Brauchbare Ergebnisse wird man hier nur durch praktische Versuche erlangen. Rechnerisch den Ruck zu bestimmen, ist von zu vielen und willkürlichen Annahmen abhängig, als daß dieser Weg empfohlen werden könnte.

III. Die Einwirkungen des Zuges.

Von den Einwirkungen des fahrenden Zuges auf das Gleis fesseln uns hier nur solche, die die Stabilität des unter Druck stehenden Gleises ungünstig beeinflussen können.

Da ist es zunächst die bekannte Tatsache, daß das Gleis vor der Lokomotive und hinter dem letzten Wagen, besonders aber unter Wagen mit großem Achs- oder Drehgestellabstand auf eine größere Strecke hin leicht angehoben wird (bei Schnellzugwagen 3 bis 6 m). Professor Halter, München, hat kürzlich in einem Aufsatz über Gleisbeanspruchung (12) diesen Umstand besonders betont. Durch das Anheben sinkt der Seitenverschiebewiderstand des Gleises in dem betreffenden Abschnitt merklich herab (um mindestens $1,3$ kg/cm). Es ist nun leicht vorstellbar, daß durch das Absinken von w auf einen, wenn auch nur ganz kurze Zeit gültigen, kleineren w -Wert eine vorhandene Gleislagestörung plötzlich außerhalb des kritischen Zustandes zu liegen kommen kann. Ein kurzer Ausknicksprung wird die Folge sein. Wiederholt sich der Vorgang öfters, so kann auf diese Weise eine erhebliche Vergrößerung der Störung verursacht werden, die unter Umständen zur gänzlichen Verwerfung führt.

Des weiteren können von Fahrzeugen ausgehende waagerechte Kräfte für die Lagesicherheit des Gleises recht gefährlich werden. Wie leicht einzusehen ist, sind die waagerechten Kräfte für unsere Untersuchungen nur dann von Bedeutung, wenn sie größer sind als der durch die Auflast verursachte Zuwachs des Seitenverschiebewiderstandes. Wann und unter welchen Umständen können solche Verhältnisse eintreten? Am ehesten, wenn nur eine Achse oder ein Drehgestell eines stark schüttelnden Wagens in größerem Abstand von den anderen Achsen auf die Störungswelle des Gleises einwirkt. (Es ist unmöglich, daß mehrere, dicht aufeinanderfolgende Achsen gleichzeitig hohe Seitendrucke ausüben. Es kommt nur eine Achse für den Seitendruck in Betracht. Die übrigen belasten die Störungswelle nur und vernichten damit die Wirkung der Seitenkraft der einen Achse.) Wir bezeichnen die überschüssige Seitenkraft mit Q und müssen zur Festlegung ihrer Größe eine sehr grobe Schätzung vornehmen. Die vom schüttelnden Wagen ausgeübte Seitenkraft wird zunächst gleich dem Achsdruck gesetzt $= 10$ t; Versuche über die Erhöhung des Seitenverschiebewiderstandes eines Gleises bei Auflast eines 19 t-Drehgestelles sind veröffentlicht (13). An Hand dieser Unterlagen kann man schätzen, daß unter besonderen Umständen, das Auftreten einer überschüssigen Seitenkraft von rund 1 t möglich ist. Es ist klar, daß die Überlegungen nur für kurze Störungswellen, also für Gleise mit geringem Trägheitsmoment J , gültig sein können.

Im theoretischen Teil sind die Formeln entwickelt worden:

$$Q = w_q \frac{1}{2} \quad \text{für Biegelinie 1,}$$

$$Q = w_q l \cdot 0,545 \quad \text{für Biegelinie 2.}$$

In Abb. 1, Taf. 28, sind nun die Beziehungen für die praktischen Fälle aufgetragen, so daß sich für $Q = 1$ t (zum Vergleich sind auch $Q = 0,5$, $1,5$ und 2 t angegeben) und für eine beliebige Knicklänge l sofort das zur entsprechenden Biegelinie gehörige w_q abgreifen läßt.

w_q stellt den Anteil des Seitenverschiebewiderstandes w dar, den die Seitenkraft Q als Reaktion für sich benötigt.

Wie Abb. 1, Taf. 28, klar zeigt, ist w_q im Bereich der kleineren Knicklängen größer als der Wert $1,3$ kg/cm; daraus ist zu folgern, daß der Einfluß der Herabsetzung von w beim Anheben des Gleises geringer ist als der Einfluß der Seitenkraft $Q = 1$ t.

Bei Gleisen mit hohem Trägheitsmoment und deshalb großen Knicklängen können wir unsere Betrachtungen auf die selbsttätige Ausknickung beschränken.

IV. Auswertungsverfahren und Ergebnisse.

Verwendet wird die „Vereinfachte Untersuchungsmethode“. Die kritische Störungslage des Gleises wird gefunden mit Hilfe der Formeln der Formelntafeln 4 und 5.

1. Beliebige Gleisverhältnisse.

Die in Abb. 2, Taf. 28, dargestellten Beziehungen sind nach den Formeln für $f'_{\min}$ der Formelntafel 4 aufgebaut und erlauben für alle möglichen Fälle, also für beliebiges P_0 , w , R und J , den kritischen Störungswert $f'_{\min}$ ohne besondere Schwierigkeit zu entnehmen. Auf der linken Seite der Abbildung ist w (bzw. g) und $\frac{P_0}{R}$ aufgetragen. Der Faktor $\left(w - \frac{P_0}{R}\right)$ ist ohne

weiteres ablesbar. $w_r = \frac{P_0}{R}$ gibt, wie wir bereits wissen, den Grenzwert des Seitenverschiebewiderstandes an, bei dem der „ungestörte“ Gleisbogen gerade noch liegen bleibt (z. B. für $P_0 = 200$ t; $R = 500$ t; $w_r = 4$ kg/cm). Auf der rechten Seite der Abbildung ist der Wert für $f'_{\min}$ in Abhängigkeit von P_0 für die beiden Biegelinien aufgetragen, und zwar für

$J = 1000 \text{ cm}^4$ und $\left(w - \frac{P_o}{R}\right) = 1$. Um den endgültigen Wert $f'_{\min}$ zu erhalten, ist es notwendig, eine zweifache Multiplikation durchzuführen. Das aus der Abbildung abzulesende $f'_{\min}$ ist zu multiplizieren mit $\frac{J}{1000}$ und mit $\left(w - \frac{P_o}{R}\right)$.

Beispiel 1: $P_o = 140 \text{ t}$; $J = 638 \text{ cm}^4$; $w = 4,6 \text{ kg/cm}$; $R = 500 \text{ m}$; $\frac{P_o}{R} = 2,8$; $\left(w - \frac{P_o}{R}\right) = 1,8$; verwendet wird Biegelinie 1, da gekrümmtes Gleis.

$f'_{\min} = 1,75 \cdot 1,8 \cdot 0,638 = 2 \text{ cm}$, das dazugehörige $l' = 8,75 \text{ m}$ (nach der Formel in Formelntafel 4).

Auf diese überaus einfache Weise lassen sich rasch für alle möglichen Fälle die kritischen Störungen für eine selbsttätige Verwerfung der Gleislage ermitteln.

Man muß sich allerdings bewußt bleiben, daß diese Ergebnisse nur bei kleinen Störungen genügende Genauigkeit besitzen; bei großen Störungen sind sie „sicherer“, d. h. gegenüber der „Genauen Untersuchungsmethode“ erhält man kleinere Werte für $f'_{\min}$. Größere Störungen sind jedoch, wie schon betont, ohne praktische Bedeutung. Durch die Abgrenzung des Betrachtungsbereiches werden sie ausgeschaltet.

Zur Beurteilung der Gefahr einer „Verwerfung unter dem fahrenden Zug“ ist es nötig, noch den Wert w_q einzuführen. Dies ist ebenfalls sehr einfach. Nach Abb. 1, Taf. 28, ist $w_q = 2,3 \text{ kg/cm}$; für $Q = 1 \text{ t}$; $l' = 8,75 \text{ m}$ und Biegelinie 1.

Da dieser Wert größer ist als $w - \frac{P_o}{R} = 1,8 \text{ kg/cm}$, bedeutet dies, daß für die dem Beispiel zugrunde liegenden Verhältnisse eine Verwerfungsgefahr in hohem Maße besteht. Eine Störung ist nicht einmal nötig!

Für $Q = 0,5 \text{ t}$ und $l' = 8,75 \text{ m}$ ergibt sich $w_q = 1,15 \text{ kg/cm}$, da w_q mit Q verhältnisgleich ist.

Die kritische Störung errechnet sich hierfür zu

$$f'_{\min} = 1,75 \cdot (1,8 - 1,15) \cdot 0,638 = 0,7 \text{ cm}.$$

Die Störungen müssen nun mit den möglichen Grenzwerten verglichen werden.

Sicherheit gegen Gleisverwerfung wird erst dann als bestehend anerkannt, wenn die errechneten Störungsmaße außerhalb der praktischen Störungsgrenze liegen.

Es ist reizvoll, einen kurzen Vergleich anzustellen zwischen den aus Abb. 2, Taf. 28, gewinnbaren Ergebnissen für selbsttätige Verwerfung und den durch genauere Untersuchungsmethoden bereits ermittelten.

Der Verfasser hat in der schon erwähnten früheren Arbeit (4) für dieselben Verhältnisse, wie sie dem obigen Beispiel 1 zugrunde gelegt sind, folgende kritischen Störungswerte erhalten: $f' = 2,5 \text{ cm}$; $l' = 7$ bis 9 m .

(Um diese zwei Zahlen zu gewinnen, war seiner Zeit eine Arbeit von mehreren Stunden nötig!)

Beispiel 2: $P_o = 173 \text{ t}$; $R = \infty$; $g = 2,6 \text{ kg/cm}$; $J = 3562 \text{ cm}^4$; lotrechte Ausknickung; Biegelinie 1.

Nach Abb. 2, Taf. 28: $f' = 1,15 \cdot 2,6 \cdot 3,562 = 10,7 \text{ cm}$.

Nach Formelntafel 4: $l' = 19 \text{ m}$.

Für dieselben Verhältnisse erhielt der Verfasser (4) früher: $f' = 13 \text{ cm}$; $l' = 22 \text{ m}$.

Beispiel 3: $P_o = 160 \text{ t}$; $R = \infty$; $g = 2,4 \text{ kg/cm}$; $J = 3562 \text{ cm}^4$.

Nach Abb. 2, Taf. 28 und Formelntafel 4: $f' = 11,3 \text{ cm}$; $l' = 19,3 \text{ m}$.

v. Sanden (5) erhält für dieselben Verhältnisse $f' = 14 \text{ cm}$; $l' = 19 \text{ m}$.

Beispiel 4: $P_o = 152,46 \text{ t}$; $R = \infty$; $g = 2,0 \text{ kg/cm}$; $J = 3000 \text{ cm}^4$.

Nach Abb. 2, Taf. 28 und Formelntafel 4: $f' = 9 \text{ cm}$; $l' = 18,5 \text{ m}$.

Martinet (1) findet für diese Verhältnisse einen labilen Gleichgewichtszustand bei $f' = 10 \text{ cm}$; $l' = 19,25 \text{ cm}$.

All diese Beispiele weisen kleine Unterschiede auf, und zwar zeigen sich, wie beim Gebrauch der vereinfachten Methode zu erwarten war, die neuen Werte auf der sicheren Seite. Ausgenommen Beispiel 1, handelt es sich hier jedoch durchweg um Störungswerte, die erheblich außerhalb der praktischen Möglichkeit liegen.

2. Es herrschen $P_o = 200 \text{ t}$ und $P_o = 130 \text{ t}$.

In den Abb. 3 und 4, Taf. 28, ist die beliebige Veränderlichkeit von P_o und R ausgeschaltet. Es ist nur die Gleisdruckkraft $P_o = 200 \text{ t}$ zugrunde gelegt, die als praktischer Höchstwert bereits festgestellt wurde und zum Vergleich hierzu die kleinere Druckkraft $P_o = 130 \text{ t}$.

In den Abbildungen sind die Störungsgrenzen der Gleise eingezeichnet; sie stellen, wie bereits erläutert, jenes Störungsverhältnis (f, l) dar, das gerade noch möglich ist, ohne daß es entdeckt und rechtzeitig beseitigt werden kann. Die Störungsgrenzen sind abhängig vom Gleishalbmesser. Die eingezeichneten Linien wurden geschätzt, und zwar unter Zuhilfenahme der vorn genannten Versuchsergebnisse. Abb. 3, Taf. 28, gilt für Biegelinie 1 und enthält die Störungsgrenzen der Gleise mit folgenden Halbmessern R : 1000 m ; 500 m ; 300 m ; 200 m . Abb. 4, Taf. 28, gilt für Biegelinie 2 und enthält nur die Störungsgrenze für das gerade Gleis ($R = \infty$). In der Abszisse ist J , das Trägheitsmoment des Gleisrostes, aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ändert sich von $J = 5000 \text{ cm}^4$ an der Maßstab. In der Ordinate ist nach unten die von w rechnermäßig unabhängige Knicklänge l aufgetragen, und zwar für $P_o = 200 \text{ t}$ und für $P_o = 130 \text{ t}$. In der Ordinate nach oben liegen die Werte den für kritischen Störungspegel $f'_{\min}$.

Wie die Formeln für $f'_{\min}$ in Formelntafel 5 zeigen, ist für ein bestimmtes P_o und ein bestimmtes (w) der Wert für $f'_{\min}$ nur mehr von J abhängig und stellt somit in unseren Abbildungen eine Gerade dar. Ändert man (w) stufenförmig, so erhält man ein vom Ursprung des Koordinatennetzes ausgehendes Strahlenbüschel. Es ließe sich dadurch leicht für jeden Punkt des Koordinatensystems, d. h. für jedes beliebige (f', J, l') das (w) angeben, das dem labilen Gleichgewichtszustand vor dem Ausknicken entspricht. Um die Klarheit der Darstellung nicht zu beeinträchtigen, wurde auf die Einzeichnung eines Strahlenbüschels verzichtet. Es wurden aber dafür bei $J = 2000 \text{ cm}^4$ und $J = 17000 \text{ cm}^4$ in der Ordinatenrichtung Maßstäbe für (w) aufgetragen und zwar links für $P_o = 200 \text{ t}$, rechts für $P_o = 130 \text{ t}$.

Will man nun für einen beliebigen Punkt im System das dem labilen Gleichgewichtszustand entsprechende (w) ermitteln, so geschieht dies ganz einfach dadurch, daß man durch diesen Punkt und den Koordinatensprung eine Gerade legt, den Schnittpunkt dieser Geraden mit der Maßstabsgeraden beobachtet und dort den Wert (w) abliest. Als bemerkenswerte Punkte im Koordinatennetz sind nun jene zu bezeichnen, die einerseits auf der Störungsgrenze liegen und andererseits J -Werten zugehören, wie sie die gegenwärtig gebräuchlichen Oberbauarten aufweisen. Für die Fälle $J = 638, 1340, 17000 \text{ cm}^4$ und Störungsgrenzen für $R = 500 \text{ m}$ und $R = \infty$ sind in Abb. 3 und Abb. 4, Taf. 28, die Schnittgeraden eingezeichnet. Hat man (w) gefunden, so ist es leicht, den tatsächlichen Seitenverschiebewiderstand w zu ermitteln.

$$w = (w) + w_r + w_q.$$

$w_r = \frac{P_o}{R}$ kann man auf der linken Seite der Abb. 2, Taf. 28, abgreifen; w_q liefert die Abb. 1, Taf. 28, sofern man das l' aus Abb. 3, Taf. 28 und Abb. 4, Taf. 28, mitgebracht hat.

Da, wie schon gesagt, die beliebige Veränderlichkeit von P_0 und R in dieser Untersuchung ausgeschaltet wird, bleiben nur mehr J und w als Veränderliche bestehen.

Bekanntlich sind es aber gerade diese beiden Werte, worin sich die Unterschiede der einzelnen Oberbauarten ausdrücken. Die Bauart der Schienenbefestigung beeinflusst J ; Bettung und Schwellenform dagegen beeinflussen w . Die Abb. 3 und 4, Taf. 28, ermöglichen es, rasch das Verhältnis von J zu w zu gewinnen, das notwendig ist, um beim Auftreten einer Gleisdruckkraft von $P_0 = 200$ t und $P_0 = 130$ t die Verwerfungssicherheit zu gewährleisten. Die Ergebnisse sind allerdings in hohem Maße von der Schätzung der Störungsgrenze abhängig.

Studiert man die Abbildungen eingehender, so wird man feststellen können, daß bei Gleisen mit niedrigen Seitenverschiebewiderständen schon sehr geringe Störungen genügen (einige Millimeter), um eine „Verwerfung unter dem fahrenden Zug“ zu ermöglichen. In scharfen Krümmungen ist es sogar möglich (für $P_0 = 200$ t), daß gar keine Störung für diese Verwerfungsart nötig ist. Diese Ergebnisse sind beachtlich!

Beispiel: $P_0 = 200$ t; $R = 500$ m; Abb. 3, Taf. 28
Oberbau K $J = 1340$ cm⁴.

Im unteren Teil der Abbildung kann abgelesen werden $l' = 10,5$ m. Aus Abb. 1, Taf. 28, kann entnommen werden: $w_q = 1,9$ kg/cm für $Q = 1$ t. $w_r = 4$ kg/cm.

$w = 6$ kg/cm sei vorhanden:

Für den Fall der selbsttätigen Ausknickung ergibt sich:
($w = 6 - 4 = 2$ kg/cm.

Zieht man in Abb. 3, Taf. 28, die entsprechende Gerade durch Ursprung und Maßstabspunkt, so wird an der Ordinate $J = 1340$ cm⁴ der f' -Wert gewonnen:

$$f'_{\min} = 2,2 \text{ cm.}$$

Für den Fall der Ausknickung unter dem fahrenden Zug ergibt sich:

$$(w) = 6 - 4 - 1,9 = 0,1 \text{ kg/cm}$$

$$f'_{\min} = 0,1 \text{ cm.}$$

Unter Zugrundelegung der Störungsgrenze ergibt sich für $J = 1340$ cm⁴; $P_0 = 200$ t und $R = 500$ m ein ($w = 3,1$). Zur Verhinderung einer selbsttätigen Verwerfung ist nötig: $w = 3,1 + 4 = 7,1$ kg/cm. Zur Verhinderung der Verwerfung unter dem fahrenden Zug ist nötig: $w = 3,1 + 4 + 1,9 = 9$ kg/cm. Der größere Wert ist maßgebend.

3. Ergebnisse und Schlußfolgerung.

a) Lotrechte Ausknickung.

Für $P_0 = 200$ t; $g = 2,6$ kg/cm; $J = 3562$ cm⁴ und Biegelinie 1 erhalten wir nach Abb. 2, Taf. 28, folgende kritischen Störungswerte:

$$\text{für } R = \infty; \quad f' = 8 \text{ cm; } l' = 17,5 \text{ m,}$$

$$\text{für } R = 2000 \text{ m; } f' = 5 \text{ cm; } l' = 17,5 \text{ m.}$$

Für $P_0 = 130$ t; $g = 2,6$ kg/cm; $J = 3562$ cm⁴ und Biegelinie 1 erhalten wir zum Vergleich folgende kritischen Störungswerte:

$$\text{für } R = \infty; \quad f' = 18,5 \text{ cm; } l' = 21,7 \text{ m,}$$

$$\text{für } R = 2000 \text{ m; } f' = 13,9 \text{ cm; } l' = 21,7 \text{ m.}$$

Bei $R = 2000$ m ist eine konvexe lotrechte Ausrundung gedacht.

Die anfallenden Störungswerte sind sehr groß. Es wird deshalb die mit dem Gebrauch der vereinfachten Untersuchungsmethode zusammenhängende Verschiebung der Zahlenwerte nach der sicheren Seite hin recht erheblich sein. Die genauere Untersuchungsmethode liefert größere Werte [siehe frühere Abhandlung des Verfassers (4)].

Jedenfalls kann man an Hand der vorstehenden Ergebnisse bereits sagen, daß die Störungen schon für $P_0 = 200$ t außerhalb der praktischen Möglichkeit liegen. Wir können

deshalb die früher schon gewonnene Erkenntnis wiederholen: Für einen neuen schweren und einigermaßen gut unterhaltenen Oberbau besteht keine Gefahr, daß er in der lotrechten Ebene ausknickt.

Der Gedanke kann wohl außer Betracht bleiben, daß jemand, sei es böseartig oder aus Unkenntnis, ein unter hohem Drucke stehendes Gleis künstlich, z. B. mit Hilfe einer Winde, anhebt.

Anmerkung.

Inwieweit bei Verwendung leichterer Schienenformen (Preußen Form 15, 8, 6, 5) eine lotrechte Verwerfung erfolgen kann, zeigt die nachstehende Untersuchung:

Schienenform	F cm ²	J cm ⁴	g' kg/cm	Gleisgewicht g = kg/cm	P ₀ in t
S 49	62,3	1781	49	2,6	200
15	57,4	1583	45	2,2	184
8	52,3	1351,6	41	2,0	168
6	42,6	1036,6	33,4	1,7	137
5	31,1	568,6	24,4	1,4	100

Die Zahlen für F , J und g' gelten für eine Schiene. Die Gleisgewichte sind geschätzt. Die Druckkräfte P_0 sind dem Querschnitt F verhältnismäßig gleich gesetzt.

Nach Abb. 2, Taf. 28, erhält man für die ungünstigste sinusförmige Störungswelle folgende kritische Störungswerte:

Schienenform	f'		l'
	R = ∞	R = 2000 m	
S 49	8 cm	5 cm	17,5 m
15	7 „	4 „	16,8 „
8	6,5 „	3,7 „	16,2 „
6	6,2 „	3,7 „	15,7 „
5	5,3 „	3,6 „	13,5 „

Nicht unwesentlich ist auch noch folgende Untersuchung, mit der sich auch Wattmann (14) schon befaßt hat:

Das Gleis liege sehr schlecht; viele lotrechte Wellen seien vorhanden; die Wellenberge haben kreisförmige Rundung. Wir wissen, daß plötzliche Ausknickung auftritt, wenn $g = \frac{P_0}{R}$ und l groß genug ist.

Die Größe von l ergibt sich aus der Überlegung: $S_b = S_p'$; d. i. $K = P_0$; daraus $l \geq \sqrt{\frac{4\pi^2 EJ}{P_0}}$. Der Pfeil des Kreisbogens errechnet sich nach der bekannten Formel: $y = \frac{l^2}{8R}$. Setzt man die oben angegebenen Größen ein, so erhält man:

Schienenform	g	P _t	R _m	l _m	y _{em}
S 49	2,6 kg/cm	200 t	770 m	12,1	2,4
15	2,2 „	184 „	840 „	11,9	2,1
8	2,0 „	168 „	840 „	11,5	2,0
6	1,7 „	137 „	810 „	11,1	1,9
5	1,4 „	100 „	715 „	9,5	1,6

Ist die Länge des Wellenberges kleiner als l , dann verbiegt sich das Gleis nur allmählich, d. h. es hebt sich ein wenig an.

Mit den vorliegenden Untersuchungen kann man manche lotrechte Verwerfung an untergeordneten Gleisen erklären, in denen noch leichtere Schienenformen liegen. Diese Gleise sind gewöhnlich sehr schlecht unterhalten. Störungswerte, wie sie in den beiden Zahlentafeln angegeben sind, sind dort durchaus möglich. Durch Zusammenrosten der Laschen und durch Schienenwandern ist das Auftreten sehr hoher Druckkräfte denkbar. Ausknickungsfördernd kommen noch

hinzu: die Unterbrechung des Trägheitsmomentes an der Stoßstelle; Unebenheiten der Stirnflächen und unter Umständen die niedrige Quetschgrenze älterer Schienen.

b) Waagerechte Ausknickung.

In Abb. 5, Taf. 28, sind für den Reichsbahn-Oberbau K ($J = 1340 \text{ cm}^4$) und für einen hochgradig rahmensteifen Oberbau auf Holzschwellen ($J = 17000 \text{ cm}^4$) die Seitenwiderstände w aufgetragen, wie sie für die jeweiligen Krümmungsverhältnisse eines durchgehend geschweißten Gleises zur vollständigen Sicherung gegen Verwerfungen notwendig erscheinen. Der Fall $J = 638 \text{ cm}^4$ ist zum Vergleich ebenfalls eingezeichnet. Die Beziehungen wurden punktweise aus Abb. 2 und 3, Taf. 28, gewonnen. Auf die Auftragung des Falles $J = 200000 \text{ cm}^4$ (hochgradig rahmensteifer Oberbau auf Eisenschwellen) wurde verzichtet. Der Einfluß der überschüssigen Seitenkraft $Q = 1 \text{ t}$ wurde durch Schraffur hervorgehoben. Der Knick in der Kurve bei $R = 1000 \text{ m}$ ist eine Folge des Überganges von Biegelinie 2 auf Biegelinie 1. Er wurde ausgeglichen.

Die Beziehung $\left(w, \frac{1}{R}\right)$ ist für den Oberbau K und für $J = 638 \text{ cm}^4$ durchwegs stark ausgezogen gezeichnet; für den Fall eines hochgradig rahmensteifen Oberbaues auf Holzschwellen ist sie jedoch im Bereich der scharfen Krümmungen nur gestrichelt angegeben. Es wird damit folgendes zum Ausdruck gebracht: Im Bereich der scharfen Krümmungen wird $\frac{P_0}{R}$ recht groß, nähert sich deshalb dem Wert w oder erreicht ihn sogar. Aus dem theoretischen Teil wissen wir, daß für $w = \frac{P_0}{R}$ die Stabilitätsverhältnisse stark von der Größe des Gleisträgheitsmomentes abhängen. Ist J sehr groß (hochgradig rahmensteifer Oberbau auf Holzschwellen und noch mehr auf Eisenschwellen), so weicht das Gleis nur aus. Verbiegungsänderungen erstrecken sich über größere Längen, sind deshalb unwesentlich und durchaus nicht betriebsgefährlich. Ist J dagegen klein (Oberbau K), dann kann die Gleichmäßigkeit der Ausweichung des Gleises durch stets anzutreffende Unregelmäßigkeiten im Seitenverschiebewiderstand leicht verhindert werden; es bildet sich bei dem geringen Verbiegungswiderstand des Gleisrostes leicht eine kleine Störungswelle und schon ist eine regelrechte Ausknickung möglich. Dazu kommt hier ferner noch das mögliche Auftreten einer überschüssigen Seitenkraft Q .

Auf Grund dieser Überlegungen erscheint es daher nötig, Oberbauarten mit kleinem J bis in die schärfsten Krümmungen durch Erhöhung des Seitenverschiebewiderstandes zu sichern. Bei Oberbauarten mit großem J kann man dagegen auf die Erhöhung des Seitenverschiebewiderstandes verzichten, da keine betriebsgefährlichen Verbiegungen der Gleislage möglich sind. Legt man aber Wert auf die ständige Erhaltung der genauen geometrischen Lage des Gleises, so muß man auch hier eine Erhöhung von w entsprechend der gestrichelt eingezeichneten Beziehung durchführen.

Bei der Besprechung des Seitenverschiebewiderstandes w des Gleises wurde bereits betont, daß die in der Praxis anzutreffenden w -Werte sehr stark schwanken. Der Grundsatz der Sicherheit verlangt, mit Mindestwerten zu rechnen. Nach den bisherigen Messungen beträgt bei einem Gleis mit Holzschwellen und normaler Bettung der Mindest-Seitenverschiebewiderstand $\bar{w} = 4,6 \text{ kg/cm}$. Wie ebenfalls schon besprochen, kann durch Anbringen von Kappen an den Holzschwellen der Seitenverschiebewiderstand des Gleises erheblich gesteigert werden. Inwieweit unter Zugrundelegung von $\bar{w} = 4,6 \text{ kg/cm}$ die Notwendigkeit besteht, die Holzschwellen mit Kappen zu versehen, um beim Auftreten einer Gleisdruckkraft $P_0 = 200 \text{ t}$ oder $P_0 = 130 \text{ t}$ die Lage des Gleises zu sichern, ist aus Abb. 5,

Taf. 28, leicht zu entnehmen. Anzahl und Verteilung der Kappen sind in Zahlentafel 7 für den Oberbau K zusammengestellt. Es empfiehlt sich hier nicht bei der Kappenverteilung weiter als vier Schwellenabstände auseinanderzugehen.

Zahlentafel 7.

Verteilung der Kappen auf die Holzschwellen beim Oberbau K.

R in m	w in kg/cm	Mit Kappen werden versehen
1. $P_0 = 200 \text{ t}$.		
∞ bis 540	$\bar{w} + \Delta w_4 = 8,6$	jede 4. Schwelle
540 „ 425	$\bar{w} + \Delta w_3 = 9,9$	„ 3. „
425 „ 280	$\bar{w} + \Delta w_2 = 12,6$	„ 2. „
280 „ 200	$\bar{w} + \Delta w_1 = 20,6$	„ Schwelle
2. $P_0 = 130 \text{ t}$.		
∞ bis 666	$\bar{w} = 4,6$	keine Schwelle
666 „ 240	$\bar{w} + \Delta w_4 = 8,6$	jede 4. Schwelle
240 „ 200	$\bar{w} + \Delta w_3 = 9,9$	„ 3. „

Der Δw -Wert ist selbstverständlich von der Größe und von der Form der Kappe abhängig. Es ist klar, daß Änderungen der Kappenkonstruktion den vorgeschlagenen stufenförmigen Aufbau der tatsächlichen w -Linie weitgehend beeinflussen können.

Aus Abb. 5, Taf. 28, ist des weiteren leicht zu ersehen, daß für $w = 8 \text{ kg/cm}$, also für einen Wert, wie er in der Praxis sehr häufig vorkommt, sogar für $P_0 = 200 \text{ t}$ auch in flacheren Krümmungen keine besonderen Zusatzmaßnahmen erforderlich wären; bei Oberbau K bis $R = 600 \text{ m}$ (bei einem hochgradig rahmensteifen Oberbau bis $R = 280 \text{ m}$). Die Sicherheit verlangt jedoch mit dem Mindestwert $\bar{w}$ zu rechnen! Bei $P_0 = 130 \text{ t}$ genügt $w = 8$ bis $R = 260 \text{ m}$.

Vorausgesetzt, daß bei der Verwendung von Eisenschwellen der Wert $w = 12 \text{ kg/cm}$ auch immer vorliegt, kann man an Hand der Abb. 5, Taf. 28, für den Oberbau K auf Eisenschwellen recht Günstiges aussagen. Bei hochgradig rahmensteifem Oberbau auf Eisenschwellen tritt zu der vorteilhaften Steigerung von w noch die riesige Steigerung von J hinzu! Der Sicherheitsgrad ist außerordentlich groß.

Ein endgültiges Urteil über die oberbautechnische Bewährung hochgradig rahmensteifer Formen des Keiloberbaus steht leider noch aus. Sollte sich diese einmal ergeben, so dürfte diese Oberbauart, wie leicht einzusehen, für Langschienenengleise sehr geeignet sein.

V. Bemerkung zur „elastischen“ Betrachtungsweise.

Die ganze Stabilitätsuntersuchung wurde unter der Voraussetzung durchgeführt, daß die Spannungen in der Schiene innerhalb des Elastizitätsbereiches bleiben, und zwar mindestens so lange, bis die Ausknickung des Gleises richtig zum „Anlaufen“ kommt.

Auf Grund der Ergebnisse der theoretischen Untersuchung kann nicht mehr bestritten werden, daß derartige rein elastisch eingeleitete Ausknickvorgänge möglich sind. Ob sie abschließliche Gültigkeit für alle Gleisverwerfungen besitzen, ist dagegen eine noch zu prüfende Frage. Es ist, wie eingangs bereits erwähnt, durchaus denkbar, daß schon frühzeitig, infolge Überbeanspruchung, der „plastische“ Zustand des Schienenwerkstoffes eintritt und damit bei wesentlich geringeren als den im vorstehenden Kapitel errechneten „kritischen“ Störungen der Gleislage die Ausknickung beginnt. Der für den Wert der vorliegenden Stabilitätsuntersuchungen sehr wichtige Nachweis wäre somit noch zu liefern, inwieweit im Gleise die Gefahr einer Überbeanspruchung des Schienenwerkstoffes tatsächlich besteht.

Der Verfasser hat in einem früheren Aufsatz (15) schon einmal versucht, die Frage nach den größten und ungünstigsten Spannungen in einer Eisenbahnschiene klarzustellen. Es galt, die spannungserzeugenden Hauptursachen zu erforschen, ihre Größtwerte zu ermitteln und dann eine sinngemäße Überlagerung der einzelnen Spannungsanteile vorzunehmen. Es lassen sich im wesentlichen vier Anteile aufstellen: Erstens die Eigenspannungen in der Schiene: Diese sind in ihrer Größe und Verteilung vom Werkstoff der Schiene und vom Herstellungsverfahren, besonders vom Richten abhängig. Sie konnten mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden. Zweitens die Einzwängspannungen: Diese haben ihre Ursache darin, daß die Schiene durch ihre Verbindung mit der Schwelle und auch infolge des Seitenverschiebewiderstandes des Gleises in der Bettung in einem gekrümmten Zustand festgehalten werden kann. Entstehen und Anwachsen der Störungswellen ist damit zu erklären. Versuche und theoretische Überlegungen (4) lieferten brauchbare Größen. Drittens die Temperaturspannungen: Ihr Zustandekommen ist klar. Den Gleisdruckkräften $P_0 = 200\text{ t}$ sowie 130 t entsprechen bei der Schiene S 49 die Normalspannungen $\sigma = 1600\text{ kg/cm}$ und 1040 kg/cm^2 . Schließlich viertens die Betriebsspannungen: Das sind diejenigen Spannungen, die durch die Achslasten in der Schiene erzeugt werden. Hier sind die Wirkungen seitlicher Kräfte noch nicht genügend erforscht. Man ist daher etwas auf Schätzung angewiesen.

Die im Hinblick auf unsere Ausknickbetrachtungen ungünstigste Stelle des Querschnitts ist zweifellos die Außenkante des Schienenfußes. In dem genannten Aufsatz (15) ist für die maßgebenden Sommerverhältnisse der Verlauf der Gesamtspannungen als eine Überlagerung der besprochenen vier Anteile aufgezeichnet. Aus der Abbildung entnehmen wir für die Schienenfußaußenkante folgende Druckspannungshöchstwerte:

Im unbelasteten Gleis $\sigma = 2900\text{ kg/cm}^2$

im belasteten Gleis $\sigma = 1500\text{ kg/cm}^2$ bzw. 3200 kg/cm^2
(letzterer beim Anheben des Gleises!) (Diese Werte gelten für $P_0 = 200\text{ t}$; für $P_0 = 130\text{ t}$ sind 560 kg/cm^2 abzuziehen!)

Wir sind uns selbstverständlich darüber im Klaren, daß diese Zahlen nur überschlägigen Wert haben können. Sie sind zwar „sicher“ gerechnet, aber es kann immerhin noch einiges dazukommen; z. B. Spannungen, verursacht durch schlechte Schienenauflagerung auf der Unterlegplatte oder zusätzliche Biegebeanspruchungen im Schienenfuß, hervorgerufen durch das eigenwillige Ausweichbestreben des unter Druck stehenden massigen Schienenkopfes, der nur durch den verhältnismäßig dünnen Steg mit dem eingespannten Schienenfuß verbunden ist.

Die Proportionalitätsgrenze und die dicht nachfolgende Elastizitätsgrenze des gewöhnlichen Schienenwerkstoffes sind in dem Aufsatz (15) mit 4100 bis 4300 kg/cm^2 angegeben und zwar gültig für die Nähe der Schienenfußaußenkante. Die Feststellung erfolgte durch Zerreißversuche an entsprechenden Probestäben (im geschlossenen Werkstück liegen bekanntlich die Verhältnisse im allgemeinen etwas günstiger als sie die Untersuchungen im Probestab ergeben).

Ein Vergleich zwischen den Höchstwerten und der Elastizitätsgrenze zeigt, daß noch Spielraum vorhanden ist. Von beruhigendem Ausmaß ist dieser Spielraum für die Verhältnisse $P_0 = 200\text{ t}$ allerdings nicht.

Führt man für die obere, abgerundete Seitenkante des Schienenkopfes eine ähnliche überschlägige Spannungsaddition durch, so erhält man für $P_0 = 200\text{ t}$ im allgünstigsten Fall als größte Druckspannung beinahe den Wert $\sigma = 4000\text{ kg/cm}^2$. Für diese Stelle des Schienenquerschnitts scheint demnach die Möglichkeit eher vorzuliegen, daß die Quetschgrenze er-

reicht wird! Da jedoch gerade in dem Augenblick, wo dies eintreten kann, der für die Ausknickung maßgebende Schienenfuß durch die Betriebslast auf Zug beansprucht wird, also im ganzen nur geringe Druckspannung aufweist, dürfte dem Vorfall, vom Standpunkt der Gleisverwerfung aus, nur untergeordnete Bedeutung zukommen. Auch bei wesentlichem Überschreiten der Quetschgrenze an der Schienenkopfkante wäre nach rein gefühlsmäßiger Beurteilung nicht mit einer zur Ausknickung führenden Veränderung der Schiene zu rechnen.

Grundsätzlich ist nun noch folgendes zu beachten: Die Spannungen in der Schiene setzen sich im wesentlichen zusammen aus Biege- und Druckbeanspruchung. Die erste hat insofern ihre Eigenheiten, als die Einzwängung eine „passive Biegebelastung“ darstellt und die Durchbiegung unter der Betriebslast nur sehr kurze Zeit dauert. Wird die Quetschgrenze des Werkstoffes erreicht, so liegt es klar auf der Hand, daß hinsichtlich der Ausknickung der Schiene erst dann eine Gefahr besteht, wenn der aus der Schienendruckkraft stammende Spannungsanteil von erheblicher Größe ist (in den oben behandelten Fällen sind es nur $0,38$ bzw. $0,25$ von der Größtspannung). Die Ausknickgefahr wächst mit dem Größerwerden dieses Spannungsanteils. Weiterhin ist festzustellen, daß durch die Einbeziehung der Eigenspannungen die Spannungsverteilung über den Schienenquerschnitt sehr verwickelt wird. Es treten viele Spannungsspitzen auf, solche liegen namentlich an der Schienenfußaußenkante vor. Der gelegentlich anzutreffenden Auffassung, daß sofort mit dem Erreichen der Quetschgrenze an einer Randstelle des Querschnittes auch schon die Ausknickung beginnen muß, kann nicht so ohne weiteres zugestimmt werden. Sehr wahrscheinlich ist eine weitergehende „Plastifizierung“ erforderlich, um die zum Ausknicken nötige Außermittigkeit der Druckkraft zu erzeugen. Das Vorhandensein von Spannungsspitzen erschwert aber das rasche Fortschreiten der Plastifizierung, sofern die Quetschgrenze des Schienenwerkstoffes sich nicht wesentlich und im gleichen Sinne ändert.

Diese Gesichtspunkte und die Tatsache, daß sich für das Zusammentreffen der ungünstigsten Belastungsverhältnisse noch ein Spannungsspielraum errechnen ließ, bilden die Grundlage, auf die wir uns stützen können, wenn wir die Vermutung aussprechen, daß die Gleisverwerfung einen vorzugsweise elastischen Ausknickvorgang darstellt. Es ist selbstverständlich sehr wünschenswert, ja sogar notwendig, diese durch überschlägige Berechnungen und Schätzungen gewonnene „Stützungsgrundlage“ durch sorgfältige Versuche nachzuprüfen und zu verfestigen.

Die Möglichkeit der Überbeanspruchung der Schiene als Ursache der Gleisverwerfung wurde von Professor Raab (16, 17), Karlsruhe, mit besonderem Nachdruck zur öffentlichen Erörterung gebracht. Raab beschäftigte sich in erster Linie mit der Sonderfrage, wann und unter welchen Umständen ein gerades und sehr genau verlegtes Gleis selbsttätig ausknickt. Er erreichte bei seinen Versuchen mit elektrisch geheizten Schienen sehr hohe Druckkräfte. Sie sind wesentlich höher als die im Betriebe auftretenden. Für diese Versuche ist es durchaus einleuchtend, daß das Überschreiten der Quetschgrenze des Schienenwerkstoffes die Ursache der Ausknickung darstellt. Die einzig denkbare gegensätzliche Möglichkeit wurde von Professor Huber (18), Warschau untersucht. Er behandelte die Frage, ob für dieselben Gleisverhältnisse (gerade und sehr genau verlegt) eine elastische, seitliche Nachgiebigkeit der Bettung nicht doch eine elastische Ausknickung des Gleises zur Folge haben kann. Die Hubersche Formel ist mathematisch richtig, jedoch insofern ohne praktische Bedeutung, weil beide Teile der Formel, und zwar jede für sich allein schon Druckkräfte liefern, die die Aufnahmefähigkeit des Schienenwerkstoffes weit übersteigen. Im ersten Teil ist

notwendigerweise ein sehr hohes Trägheitsmoment für den Gleisrost einzusetzen. Im zweiten Teil der Formel war die Hubersche Bettungssteifigkeitszahl C bisher unbekannt. Versuche, die der Verfasser eigens angestellt hat, ergaben C -Werte zwischen 40 bis 200 kg/cm².

Der Vorschlag von Professor Raab (16, 17), Schienen mit höherer Quetschgrenze zu verlegen, wäre, wenn die Mehrkosten nicht beständen, zweifellos der einfachste Weg, um über die Bedenken hinsichtlich einer plastisch eingeleiteten Verwerfung hinwegzukommen. (Die Gefahr einer elastisch eingeleiteten Verwerfung bestünde selbstverständlich nach wie vor.) Der Vorschlag Raab scheint nach dem jetzigen Stand der Erkenntnisse als zu weitgehend; demgegenüber verdient die auf einfache Weise und ohne wesentliche Mehrkosten zu erreichende Beseitigung unnötiger Mehrbeanspruchungen der Schienen größte Aufmerksamkeit. Hier sind zu nennen: Die Minderung der Eigenspannungen im Schienenstahl, die mit Sicherheit verbundene Hebung der neutralen Temperatur, die gute Verlegung und sorgfältige Pflege des Gleises (nicht nur aus fahrtechnischen Gründen)!

Zusammenfassung.

Die vorstehenden Untersuchungen befassen sich mit der Stabilität von geraden und gekrümmten Gleisen, deren Schienen durch hohe Druckkräfte beansprucht sind. Es wurden die notwendigen Maßnahmen ermittelt zur Sicherung der Gleise gegen „selbsttätige Verwerfung“ und gegen „Verwerfung unter dem fahrenden Zug“.

Die theoretische Berechnungsart enthält eine Anzahl vereinfachender Annahmen, die sich jedoch alle nach der sicheren Seite hin auswirken. Außer dem Gebrauch der Energiemethode und einiger Vereinfachungen hinsichtlich Entspannung und Feststellung der Knicklänge des verbogenen Gleises, sind es das gleichbleibend angenommene Trägheitsmoment des Gleisrostes und der gleichbleibend angenommene Seitenverschiebewiderstand des Gleisrostes in der Bettung. Dazu kommen noch die Einführung der als „Störungsgrenze“ bezeichneten größtmöglichen Gleisverbiegung, wie sie unbemerkt im Betriebsgleis gerade noch auftreten kann, sowie die Einführung einer durch den fahrenden Zug verursachten „überschüssigen Seitenkraft“. Störungsgrenzen und überschüssige Seitenkraft beeinflussen das Endergebnis in hohem Maße. Leider sind hier die Unterlagen zur Ermittlung genauer Werte noch recht dürftig, so daß man weitgehend mit Schätzungen arbeiten muß.

Als größte Druckkraft im Gleis, erzeugt durch Temperaturerhöhung, wurde $P_0 = 200$ t eingeführt. Von den bekannten Maßnahmen zur Senkung der größten Druckkraft wäre die wirkungsvollste die Änderung der Verlegungsbedingungen. Die Folgen einer wesentlichen Hebung der neutralen Temperatur sind aber noch nicht genügend erforscht. Zur Ermöglichung eines Vergleiches wurde die Rechnung auch mit $P_0 = 130$ t durchgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Kapitel B, IV 3 eingehend beschrieben. Wenn man von den besonderen Verhältnissen im Bergbauggebiet absieht, kann festgestellt werden, daß bei neuzeitlichen schweren Oberbauarten eine lotrechte Verwerfung nicht möglich ist. Hinsichtlich waagerechter Ver-

werfung kann man die Gefahr beseitigen durch Steigerung des Seitenverschiebewiderstandes oder unter Umständen durch Einführung eines hochgradig rahmensteifen Oberbaues. Abb. 5, Taf. 28 und Zahlentafel 7 zeigen klar, wie weit man vorgehen muß.

Die Untersuchungen sind ferner unter der Voraussetzung durchgeführt worden, daß die Spannungen in der Schiene innerhalb der Elastizitätsgrenze bleiben. Ein genauer Beweis für die absolute Richtigkeit dieser Annahme kann leider nicht geliefert werden. Auf Grund überschlägiger Ermittlungen neigt man jedoch stark zur Auffassung, daß die Voraussetzung berechtigt ist. Eine Überschreitung der Quetschgrenze des Schienenwerkstoffes als einleitende Ursache einer Gleisverwerfung ist kaum zu erwarten. Auf alle Fälle dürfte dies wesentlich seltener sein als die elastische Verwerfung, wie sie den vorstehenden Untersuchungen zugrunde gelegt ist.

Endgültig und zuverlässig kann diese Frage wohl nur durch Versuche geklärt werden. Gegenwärtig werden von einer Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Reichsbahn unter Leitung von Direktor b. d. R. Herwig (Reichsbahnzentralamt Berlin) in großem Umfange solche Versuche angestellt und es steht zu hoffen, daß sich dabei wertvolle und gut gesicherte Erkenntnisse gewinnen lassen.

Schriftennachweis.

1. Martinet: Flambement des roies sans joints sur ballast et rails de grande longueur. Rev. gén. Chem. de Fer 1936, S. 212.
2. Lederle: Sicherheit gegen Verwerfen im durchgehend geschweißten Gleis. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, S. 235.
3. Bloch: Die Stabilität des lückenlosen Gleises. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 169.
4. Meier: Die Stabilität des lückenlosen Vollbahngleises. Z. VDI 1934, S. 1153.
5. v. Sanden: Über die Wirkung von Wärmespannungen im Eisenbahngleis. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 368.
6. v. Gruenewaldt: Die Knicksicherheit des lückenlosen Gleises. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, S. 109 und 292.
7. Meier: Beitrag zur Frage der Rahmensteifigkeit des Gleisrostes. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, S. 148.
8. Nemeseck: Versuche der Königl. ungarischen Staatsbahnen über die Sicherheit des Gleises. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, S. 105.
9. Amman und Gruenewaldt: Der Widerstand des Gleises gegen Längs- und Querverschiebung. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, S. 101.
10. Corini: Die bauliche Ausbildung des Gleises für große Geschwindigkeiten. Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Verein. 1936. April.
11. Meier: Kräfte und Spannungen im Langschienenoberbau. Z. VDI 1935, S. 380.
12. Halter: Statische Untersuchung des Eisenbahngleises auf zeichnerischem Wege. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, S. 378.
13. Bericht über „Versuche über die Seitensteifigkeit des Gleises“. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, S. 303.
14. Wattmann: Knicksicherheit des Gleises. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, S. 176.
15. Meier: Eigenspannungen in Eisenbahnschienen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, S. 320.
16. Raab: Die Stabilität des Schienenweges unter neuen Gesichtspunkten. Z. VDI 1934, S. 405.
17. Raab: Gleisverwerfungen durch Wärmespannungen. Gleistechnik und Fahrbahnbau 1937, S. 82.
18. Huber: Über die Stabilität gerader, lückenloser Gleise. III. Internationale Schienentagung Budapest 8. bis 12. September 1935. Sonderdruck.

Rundschau.

Bahnunterbau; Brücken und Tunnel, Bahnoberbau.

Bettungsschutz neuer Art.

Von Elemér von Pál, Dipl. Ing., Baurat der M. A. V.

Es ist bekannt, daß die früheren leichten Straßendecken, die bei der nach Macadam benannten Bauart aus Steinschlag mit einem sandigen Bindemittel bestanden, den Ansprüchen des neu-

zeitlichen Kraftwagenverkehrs nicht gewachsen waren. Die saugende Wirkung der Gummireifen lockerte den Verband der gewalzten Decke und das Zermahlen der losgerüttelten Teile führte zu einer unerträglichen Staubbildung.

Es erhebt sich nun die Frage, ob die sprunghafte Entwicklung

der Fahrgeschwindigkeit auf Eisenbahnen nicht ähnliche Wirkungen auf die Gleisbettung hervorbringen kann, natürlich in stark geschwächtem Ausmaß. Denn die reibenden Bewegungen im Bettungskörper werden — wenn auch nicht größer, so doch schneller und schlagartiger, und das Aufwirbeln des einmal gebildeten Staubes und Steingesplitters wird durch den starken Fahrwind bei Hochgeschwindigkeiten ungemein begünstigt. Die auftretende Luftströmung stößt schon bei den heutigen Geschwindigkeiten den Staub und die kleineren Kieskörner der Wegübergänge auf und schleudert sie hinweg, wogegen eine Geschwindigkeit von 200 km/h und mehr auch die offene Bettung angreifen wird. Die Luftströmung, die bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h einen Fahrwind von 55,5 m/s verursacht, wird kleinere Kieskörner mit sich reißen. Es ist also immerhin erwägenswert, ob nicht auch die Gleisbettung künftig eines besonderen Schutzes bedarf. Ein solcher Bettungsschutz sei in den folgenden Zeilen beschrieben:

Man legt auf die Bettung in den Zwischenräumen der Schwellen, den ganzen Abstand ausfüllend, der Länge der Schwellen entsprechende oder noch besser diese übergreifende Tafeln aus

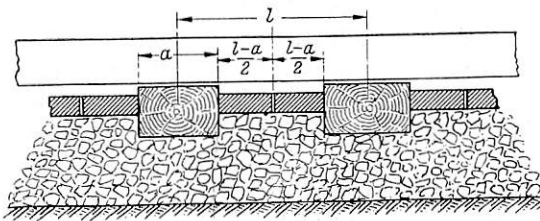


Abb. 1.

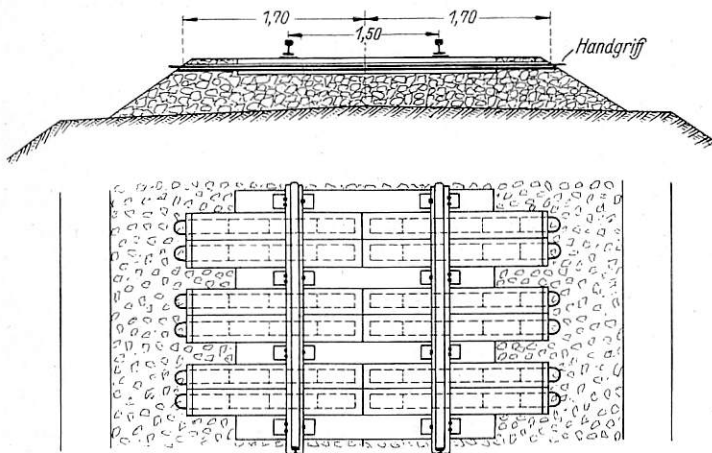


Abb. 2.

Eisenbeton, etwas tiefer als die Oberfläche der Schwellen. Die Tafeln werden in halber Länge hergestellt, damit ihr Gewicht nur so groß wird, daß zwei Arbeiter sie handhaben können. Ihre Dicke betrage 8 cm. Die Einlageisen ragen an den äußeren Enden der Tafeln henkelartig heraus, was den Arbeitern das Aufnehmen und Einlegen der Tafeln erleichtert. Das Gewicht der nach der Abbildung 170 cm langen, 25 cm breiten und 8 cm dicken Tafeln beträgt rund 100 kg. Das ganze Gewicht der in ein Schwellenfach eingelegten Tafeln ist also bei vier Stück 400 kg. Der Beton kann mit geringem Zementzusatz mager gehalten werden, da doch die mit ihrer ganzen Unterfläche aufliegenden Tafeln keinerlei Beanspruchung erleiden. Als Einlage dient altes Rundisen, da die Billigkeit Hauptziel sein muß. Das äußere Bild der mit solchen Tafeln belegten Strecke erscheint wie ein mit Eisenbetontafeln ausgerüsteter Brückensteg (Abb. 1 und 2).

Ein derartiger Bettungsschutz kann folgende Vorteile bieten:

1. Die auf die Bettung gelegten Eisenbetontafeln erschweren das Ausweichen der einzelnen Bettungssteine nach den Zwischenräumen der Schwellen, damit zugleich die Lockerung der Schwellen.
2. Die durch die Züge verursachten Erschütterungen leiten den Tafeln eine stampfende Wirkung zu, wodurch die Bettungsmasse unter den Tafeln gedichtet wird, so daß die Lockerung der Schwellen hinausgeschoben wird.

3. Infolge der in Punkt 2 erwähnten Wirkung wird auch die Zahl der Unterstopfungen vermindert, was auch geldlich zum Ausdruck kommt.

4. Der Bettungsschutz vermindert, dem Rauminhalt der Tafeln entsprechend, die Aus- und Einbettungskosten. Die Kosten des Herausziehens und Wiedereinlegens der Tafeln sind nicht von Belang.

5. Die Kosten der Unkrautvertilgung vermindern sich bedeutend

- a) weil in die Bettung weniger Unkrautsamen gelangt, den der Wind dorthin führt,
- b) weil der in die Bettung geratene Unkrautsamen nicht jene Bedingungen findet (Sonne und Wasser) die sein Gedeihen begünstigen.

6. Verminderung des Verschmutzens der Bettung, die durch die Züge selbst, dann auch durch die vom Wind angewehten Stoffe verursacht wird.

7. Das Eindringen des Schnees und des Niederschlagswassers in die Bettung ist erschwert, weil ein Teil des Wassers von den glattflächigen Tafeln nach den Rändern der Bettung abläuft, so daß die schädliche Wirkung bedeutend verringert wird. Der auf die Tafeln fallende Schnee kann leicht entfernt werden, so daß auf die Krone des Unterbaues weniger Wasser gelangt, also die verheerende Wirkung des Wassers vermindert wird.

8. Das Wandern des Gleises und die damit verbundene Spurrückbildung bei Schrägstellung der Schwellen wird durch den Widerstand der Tafeln erschwert und vermindert.

9. Der schnelle Verkehr kann aus der Bettung keinen Staub und keine Splitter des Steinschlages aufwirbeln.

Als einziger Nachteil kann nur der Kostenaufwand für die Schutztafeln ins Feld geführt werden. Immerhin dürften aber die Kosten mindestens dort nicht ins Gewicht fallen, wo besondere Verhältnisse einen wirksamen Schutz der Bettung erforderlich machen.

Bemerkung der Schriftleitung: Der vorstehende Vorschlag erscheint nach Untersuchungen und Anregungen von Schubert und Bräuning auch dort nicht unbeachtlich, wo es sich darum handelt, das Oberflächenwasser von dem Unterbau im Rotliegenden, auf weichem Ton und Mergel möglichst fernzuhalten. Ob dabei eine andere Formgebung der Tafeln (Mulden), ein anderer Werkstoff (leichte dünne Steinzeugtafeln) oder eine besondere Oberflächenbehandlung (gegen Geräuschbelästigung) zweckmäßig erscheinen, mag etwaigen Versuchen vorbehalten bleiben.

Elektrische Auftragschweißung an abgenutzten Weichenteilen bei englischen Bahnen.

Nach zahlreichen Versuchen sind die englischen Eisenbahnen dazu übergegangen, die abgenutzten Teile von Weichen und Kreuzungen durch elektrische Aufschweißung weiterhin brauchbar zu erhalten.

Der Schweißmaschinensatz wird zwischen den Gleisen neben der zu behandelnden Weiche aufgestellt. Er ist so leicht gebaut, daß er in wenigen Minuten an Ort und Stelle gebracht werden kann.

Der zur Schweißung verwendete Überzug der Elektrode gibt ein zähes jedoch biegsames Schweißmaterial, das zu erheblicher Härte erkaltet. Vor Beginn der Schweißung müssen sämtliche Bolzen der abgenutzten Teile, also namentlich der Herzstücke und Kreuzungsstücke angezogen und die Schwellen fest unterstopft werden, um eine Bewegung der zu schweißenden Teile unter dem Betriebe zu verhüten. Dann werden sie sorgfältig von Fett und Schmutz gereinigt; alle beschädigten Metallteile, Ecken und Kanten von den Spitzen der Herzstücke bzw. Kreuzungsstücke, sowie von den Flügelschienen werden abgeschliffen, um eine saubere Metalloberfläche zu erhalten. Sodann wird die gegenseitige Höhenlage der Oberflächen der Herzstückspitzen und der beiden Flügelschienen festgestellt und durch Kreidestriche die Begrenzung der Schweißung vermerkt. Mit der Schweißung wird an der niedrigsten liegenden Oberfläche begonnen.

An den Flügelschienen zeigt sich häufig eine besonders tiefe Abnutzung dicht hinter der Herzstückspitze. Diese Vertiefung muß zunächst so weit ausgefüllt werden, daß ihre Oberfläche mit der übrigen abgenutzten Fläche bündig liegt; erst dann wird die

weitere Schweißung ausgeführt. Es sind in der Regel mehrere Schweißlagen übereinander nötig, wobei die obere Lage immer etwas länger als die darunter befindliche ist.

Abb. 1 zeigt die durch Zahlen angedeutete Reihenfolge der Schweißungen bei zwei Herzstückspitzen. Die Stoßfläche zwischen den beiden Schienenenden, welche die Herzstückspitze bilden, darf nicht durch Schweißmetall ausgefüllt werden.

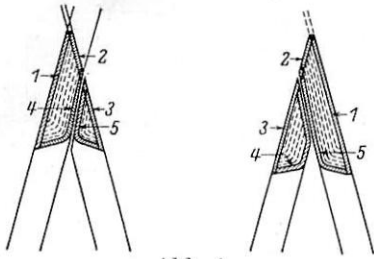


Abb. 1.

Zunächst werden die aufzuschweißenden Flächen durch Ränder von Schweißmetall eingefasst. Die innerhalb der Ränder liegende Schweißung wird so ausgeführt, daß sie, wie die Abbildungen zeigen, parallel zu den Rändern verläuft. In gleicher Weise werden auch die auf Abb. 2 dargestellten Flügelschienen behandelt.

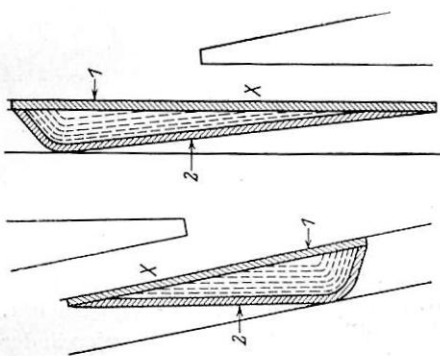


Abb. 2.

Da in der Regel mehrere Lagen nötig sind, muß bei der Ausführung zwischen den aufzuschweißenden Weichteilen gewechselt werden, einerseits um ihre Oberfläche möglichst in vorgeschriebener Höhe zueinander zu halten, andererseits um eine Überhitzung des Metalls zu vermeiden.

Nach Beendigung der Aufschweißung wird den behandelten Teilen

unter Verwendung von Schleifscheiben die richtige Form, die durch Lehren geprüft wird, gegeben.

Durch Benutzung von Kabeln kann die Entfernung zwischen Schweißapparat und Schweißstellen bis zu 45 m ausgedehnt werden.

Nach den Erfahrungen ist es zweckmäßig, vor Beginn der Schweißung die Oberfläche der alten Eisenteile anzuwärmen, um einerseits eine zu große unerwünschte Härte zu beseitigen, andererseits die Bildung von Haarrissen zwischen der aufgeschweißten Decke und der alten Oberfläche zu verhüten. Das Anwärmen geschieht auf elektrischem Wege mit Hilfe des Schweißmaschinensatzes.

Sr.

Mod. Transport Nr. 877.

120 Fuß-(36,58 m)-Schienen in Großbritannien.

Anfang vorigen Jahres wurde bei einem englischen Walzwerk im Auftrag der Southern Area, London & North Eastern Eisenbahn ein Satz von 60 Schienen von 120 Fuß (36,58 m) Länge gewalzt. Sie wurden südlich von Holme in der Talstrecke verlegt. Es dürfte das die größte, bis jetzt ohne Schweißung in einem Stück zur Verlegung gekommene Schienenlänge sein.

Bekanntlich begegnet die Walzung großer Schienenlängen an sich keinen Schwierigkeiten, da es schon jetzt Walzwerke gibt, die bis zu 120 m Länge walzen. Die Schwierigkeiten wurden vielmehr in der Handhabung und in dem Transport langer Schienen

erwartet. Diese Bedenken scheinen in neuerer Zeit überwunden zu sein. Man verwendet gekuppelte Wagen mit Drehschemeln und hat auf Strecken der Deutschen Reichsbahn bis zu 225 m Halbmesser durchfahren, ohne daß die Schienenstapel sich verschoben. Durch Zusammenschweißen von zwei Schienen zu 30 m ist man bis zu 60 m Schienenlänge gekommen. Die österreichischen Bahnen haben bis zu 60 m lange Schienen in 250 m kleinster Krümmung mit 45 km/h Geschwindigkeit in Wagen ohne Drehschemel befördert.

Die Form der verwendeten erwähnten 120 Fuß-Stahlschiene ist von der britischen Regelform nur wenig verschieden insofern, als der Kopf auf Kosten des Fußes ein wenig verstärkt wurde. Das Gewicht ist 49,52 kg/m. Die Schiene wiegt damit etwa 1,8 t. In The Railway Gazette vom 19. März 1937, der diese Angaben entnommen sind, sind die für die Herstellung dieser Langschienen im Walzwerk, am Kühlbett und am Kranen erforderlichen besonderen Einrichtungen genauer beschrieben. Bei geeignetem Kühlverfahren wurden musterhaft gerade Schienen erzielt. Das Abladen vom Eisenbahnwagen erfolgte in bekannter Weise durch paarweises Abziehen der Schienen mittels Kette in Längsrichtung bei langsamer Bewegung des Abladezuges. Zur seitlichen Verschiebung der abgeladenen Schienen waren dann besondere Schienenheber im Gebrauch. Die Verschiebung ebenso wie die Verlegung der Langschienen zur Auswechslung alter Schienen sind mit Zeitangaben eingehend geschildert. Zur Verhütung des Wanderns erhielt jede Schiene in etwa 2,3 m Abständen 16 sog. Phillipsverankerungen. Die Strecke, auf der die Langschienen verlegt sind, liegt am Fuße einer langen 200:1 geneigten Rampe und wird von den zu Tal fahrenden Expreßzügen mit hoher Geschwindigkeit befahren.

Dr. Saller.

Die Gestaltung von Gegenkrümmungen ohne Zwischengerade bei den Österreichischen Bundesbahnen.

In Gleistechnik und Fahrbahnbau, Heft 1/2 1937, berichtet Oberbaurat Ing. Emanuel Petroni über Versuche größeren Umfangs der Österreichischen Bundesbahnen, Gegenkrümmungen ohne Zwischengerade auszubilden. Das Verhalten der Fahrzeuge in den für die Versuche hergestellten Gegenkrümmungen ohne Zwischengerade wurde mit Hilfe von Seismographen überprüft und dabei festgestellt, daß der Lauf der Fahrzeuge in den Gegenkrümmungen ohne Zwischengerade ruhiger ist. Es wird dies darauf zurückgeführt, daß die Drehung des Fahrzeugs um seine horizontale Achse während des Laufs durch die Überhöhungsrampe beim Fehlen einer Zwischengeraden keine Unterbrechung erfährt, während bei einer kurzen Zwischengeraden diese Drehung plötzlich unterbrochen wird, um ebenso plötzlich wieder zu beginnen. Das Ergebnis der angestellten Versuche hat die Österreichischen Bundesbahnen bestimmt, bei künftigen Erneuerungsarbeiten kurze Zwischengerade zwischen Gegenbogen zu beseitigen. Die Erfahrungen mit den bisher in diesem Sinn durchgeführten Verbesserungen haben befriedigt.

Es wird in der Folge die Ermittlung der durch die Ausschaltung der Zwischengeraden notwendigen neuen Übergangsbogen mit Hilfe des Winkelbildverfahrens dargelegt und ein Schaubild für das Verhältnis zwischen Länge der zu beseitigenden Zwischengeraden, Halbmesser der Gegenbogen und der durch die Beseitigung der Zwischengeraden erforderlichen größten seitlichen Gleisverschiebung gegeben. Die Möglichkeit auch Zwischengerade größerer Länge auszuschalten wird kurz behandelt. Därr.

Bahnhöfe nebst Ausstattung.

Neuartiges englisches Stellwerk.

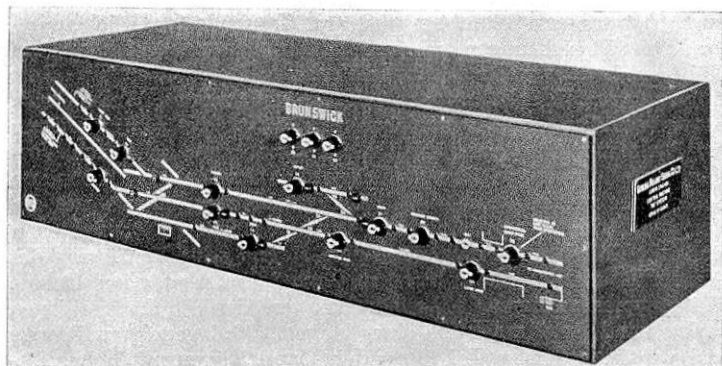
Die Cheshire Eisenbahngesellschaft hat durch die General Railway Signal Co. zwischen Liverpool und Manchester auf dem Güterbahnhof Brunswick, etwa 2,5 km vom Hauptbahnhof Liverpool entfernt, eine neue Stellwerkeinrichtung herstellen lassen und am 28. Februar 1937 in Betrieb genommen; hierdurch wird zugleich die Ausrüstung der Strecke Liverpool—Otterspool mit Lichttagessignalen und selbsttätigem Block vervollständigt. Die Strecke ist sehr dicht belegt. Bisher waren auf dem Bahnhof für den Betrieb der mit den Hauptgleisen zusammenhängenden Weichen und Signale zwei Stellwerke mit 22 und 44 Hebeln vorhanden. Das Stellwerk mit den 22 Hebeln ist weggefallen, das mit 44 ist auf 34 eingeschränkt

worden. Das ist erreicht durch Anwendung des NX-Apparats. Diese Bezeichnung ist aus En und Ex, den Anfangsilben von Entrance, Eingang, und Exit, Ausgang, gebildet. Der Engländer spricht bekanntlich den Buchstaben X Ex aus.

Der Name ist gewählt, weil der Stellwerkswärter nur den Anfang und das Ende einer Zugbewegung zu wissen braucht, um die erforderliche Fahrstraße zu bilden und die Signale auf Fahrt zu stellen. Er tut das durch Drehen eines Knebels für den Anfang der Strecke und durch Drücken eines Knopfs für das Ende der Strecke. Die elektrisch gestellten Weichen nehmen dann die zugehörige Stellung ein, wenn sie sich nicht schon darin befinden. Die Signale gehen auf Fahrt. Die in der Nähe des Stellwerks be-

findlichen Weichen, auch die in den Hauptgleisen, werden mechanisch gestellt und elektrisch geprüft; die weiter entfernt gelegenen Weichen, auch die für den Wärter nicht sichtbaren, werden, wie es in Amerika üblich ist, mit besonders ausgebildeten Antrieben elektrisch gestellt und verriegelt.

Zur Bedienung dieser Weichen und der Signale dient ein vorn mit einem Schaubild versehenes kleines Kastenstellwerk von etwa 1 m Länge und 0,30 m Höhe (s. Abbildung) mit Knebeln und Druckknöpfen. Der Kasten ist in bequemer Reichhöhe über den mechanischen Weichenhebeln angebracht. Die Lichtsignale sind drei- und vierbegriffig, weichen aber von den bei uns üblichen kaum ab; die Rangiersignale sind Zwerglichttagessignale mit zwei Begriffen und entsprechen in der Bedeutung etwa unseren Gleissperrsignalen.



Kastenstellwerk nach dem NX-System.

Durch Überwachungslampen auf dem Schaubild wird das Brennen und die richtige Stellung der Signale überwacht; für die Stellung der elektrisch gestellten Weichenverbindungen sind bewegliche Schauzeichen vorhanden. Die mechanisch gestellten Weichen werden durch Drücken eines Knopfs im Schaubild für Rangierbewegungen freigegeben. Das Besetztsein eines Gleisschnitts zwischen zwei Weichen wird durch ein rotleuchtendes Lämpchen angezeigt.

Die Abhängigkeit der mechanisch gestellten Weichen vom Kastenstellwerk wird durch elektrische Hebelsperren und Überwachungsstromkreise hergestellt.

Das ganze stellt eine erheblich an Baustoffen sparende neuzeitliche Ergänzung vorhandener Anlagen dar, die durchaus beachtlich ist.

Buddenberg.

(Rly. Gaz. vom 2. April 1937.)

Eine amerikanische selbsttätige Bahnsehranke.

Die Gesichtspunkte, die der Sicherung von schienengleichen Straßenübergängen zugrundeliegen, sind in den Vereinigten Staaten zwar andere als in Deutschland, es ist aber trotzdem von Wert, sie kennen zu lernen. Sie gehen aus dem Bau und dem Betrieb einer Schrankenanlage hervor, die die Chicago & Nordwest-Eisenbahn in Waukegan im Staate Illinois errichtet hat. Der Straßenübergang, der durch sie gesichert werden soll, liegt in der zweigleisigen nach Milwaukee führenden Strecke, auf der täglich ungefähr 30 Personenzüge, darunter bevorzugte Schnellzüge, verkehren, wozu noch eine Anzahl Güterzüge kommen. Die Straße bildet den Zugang zu einer Fabrik und zu einem Großkraftwerk, und hat also einen lebhaften Verkehr, sowohl mit Lastwagen, wie auch mit den Personenwagen der Belegschaft der beiden Betriebe, von denen die Fabrik neuerdings in drei Schichten arbeitet. Der Schichtwechsel findet um 7 Uhr 30 Min., um 15 Uhr 30 Min. und um 23 Uhr 30 Min. statt. Der Übergang zu dieser Arbeitszeit gab der Eisenbahn Veranlassung, an Stelle der

Bewachung des Übergangs während 16 Std. am Tage eine selbsttätige Schrankenanlage zu setzen, die während der ganzen 24 Std. des Tages in Tätigkeit ist.

Die Straße, die durch die neue Schrankenanlage gesichert werden soll, hat eine 6 m breite Fahrbahn und seitliche Fußwege. Die Pfosten der Schranken, von denen nur je einer auf jeder Seite des Übergangs, rechts in der Fahrtrichtung, aufgestellt ist, stehen ungefähr 4,5 m von der Kante der Fahrbahn entfernt, die Schrankenbäume sind ungefähr 8,1 m lang, reichen also nur etwa 60 cm über die Mitte der Fahrbahn hinaus. Die linke Hälfte der Fahrbahn bleibt also unbeschränkt. Dieser Anordnung liegt der Gedanke zugrunde, daß es nur nötig ist, die sich dem Übergang nähernden Fahrzeuge und Personen durch die Schranken von den Gleisen fern zu halten, während es nur von Vorteil ist, wenn die linke Hälfte der Fahrbahn frei bleibt, so daß zwischen den Schranken eingeschlossene Fahrzeuge hier entschlüpfen können. Sollte einmal der Antrieb versagen und die Schranke im geschlossenen Zustande stehen bleiben, so ist der Übergang doch nicht vollständig gesperrt.

An der Straßenkante, rechts in der Fahrtrichtung hat man das feste Signal, ein Andreaskreuz mit einer Haltescheibe, belassen, das schon vor dem Einbau der selbsttätigen Schrankenanlage den Straßenverkehr auf die Schienenkreuzung aufmerksam machen sollte. Auf einem dieser Signalmaste ist außerdem eine Warnungsklingel angebracht.

Von fern gesehen, bieten die beiden versetzten Schrankenbäume das Bild, als ob sich eine Schranke über die ganze Breite des Übergangs erstreckte. Dieses Bild bietet sich dem heranahenden Fahrer auch in der Nacht dar, da die Schrankenbäume mit roten Lampen besetzt sind. Sowohl die Lampen wie die erwähnte Warnungsklingel werden vom Schrankenantrieb gesteuert.

Die Schrankenbäume werden durch einen Öldruckzylinder angetrieben. Jeder Schrankenbaum hat seinen eigenen Antrieb, es liegen also keine Ölleitungen unter den Gleisen, und eine Störung an einem Zylinder läßt den Antrieb des Schrankenbaums auf der anderen Seite der Gleise unberührt. Die Schrankenbäume ruhen auf einem 90 cm hohen Gehäuse, und zwar so, daß sie in waagerechter Richtung um 120° nach außen gedreht werden können. Ein Wagen, der sich beim Senken der Schranke bereits auf dem Gleis befand, kann sie also beiseite drücken und so seine Fahrt fortsetzen. Er hat dabei einen Widerstand von etwa 11 kg zu überwinden, der ausreicht, um zu verhüten, daß etwa der Wind einen Schrankenbaum beiseitedrückt.

Die Öldruckzylinder werden durch den Zug selbsttätig elektrisch gesteuert. Hat der Öldruck ungefähr 35 kg erreicht, so schiebt das Öl einen Kolben in einem Zylinder vor sich her und bewegt so den Schrankenbaum. Sollte sich dem Schrankenbaum ein Hindernis in den Weg stellen, fällt er also etwa auf das Dach eines fahrenden Wagens, so öffnet sich unter einem Überdruck von ungefähr 4,5 kg/cm² ein Umlauf, und das Öl fließt in seinen Behälter zurück. Der Wagen kann also durch den sinkenden Schrankenbaum nicht beschädigt werden. Hat der Zug den Übergang verlassen, so öffnet sich ein Ventil im Ölantrieb, das Öl fließt aus und der Schrankenbaum fällt infolge eines Übergewichts an seinem hinteren Arm in die Ruhelage zurück. Da die Sicherungsanlagen der Strecke von Gleisströmen gesteuert werden, hatte es keine Schwierigkeiten, den Antrieb der Schrankenbäume ebenfalls elektrisch zu steuern. Die Kreuzung wird von Zügen befahren, die eine Geschwindigkeit von 145 km in der Stunde haben. Die Schienenkontakte, die die Schranken steuern, liegen ungefähr 1350 m von dem Straßenübergang entfernt. 33 Sek., ehe der Zug den Übergang erreicht, wird die Warnungsklingel in Tätigkeit gesetzt, und nach 15 Sek. sind die Schranken geschlossen, so daß von diesem Augenblick bis zum Vorbeifahren des Zuges nur noch 18 Sek. vergehen, wenn dieser mit der Höchstgeschwindigkeit fährt.

Wernecke.

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.