

# 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

91. Jahrgang

15. Februar 1936

Heft 4

## Die neue Eisenbahnbrücke über die IJssel bei Hattemerbroek in der Linie Amersfoort—Zwolle.

Von ir. Th. Mundt, stellvertretender Bahn- und Baudirektor der Niederländischen Eisenbahnen, Utrecht.

Hierzu Tafel 8.

Die IJssel, der kleinste der drei Rheinarme, war in der Linie Amersfoort—Zwolle durch ein im Jahre 1864 dem Verkehr übergebenes Bauwerk überbrückt.

Diese Brückenreihe mit eingleisigem Oberbau war zusammengesetzt aus drei Öffnungen von etwa 40 m über die linke Niederung, aus einer ungleicharmigen Drehbrücke mit Armlängen von 18,50 m und 19,50 m, aus zwei Öffnungen von etwa 74 m über dem Fluß und aus vier Öffnungen von etwa 40 m über die rechte Niederung. Der Unterbau dieser Brücke war für zwei eingleisige Träger ausgestaltet. Das Bauwerk mußte durch eine neue Überbrückung ersetzt werden, um den seither angewachsenen Belastungen und Zuggeschwindigkeiten genügen zu können.

Zunächst hatte man beabsichtigt, vorläufig mit einer neuen eingleisigen Brücke auszukommen, wobei diese neben die bestehende auf dem vorhandenen Unterbau errichtet werden sollte.

Weil aber bei der Verdingung die Kosten sich über Erwarten günstig gestalteten, wurde nach längeren Verhandlungen die mindestfordernde Firma, die N. V. Koninklijke Maatschappij „de Schelde“ zu Vlissingen, die bedingungsgemäß nach Inbetriebnahme der neuen Trägerreihe die alte abzutragen hatte, auch mit der Herstellung einer neuen Brückenreihe im zweiten Gleis beauftragt.

Für den beweglichen Teil wurde eine Hubbrücke gewählt, weil die benötigte Hubhöhe nur 5 m betrug und durch Abbruch des Drehpfeilers die Durchflußweite sich so weit vergrößerte, daß im Winterbett der linken Niederung eine Öffnung eingespart werden konnte.

Die neue Brückenreihe hat dementsprechend nur zwei Öffnungen auf der linken Niederung, die alte dritte Öffnung wurde durch einen Sanddamm ersetzt, wobei der erste Pfeiler zum linken Widerlager umgebaut wurde.

Für den ausgeführten Entwurf (Abb. 4) waren folgende Überlegungen maßgebend: Die Kosten für die Anfertigung und den Einbau der Träger sollten möglichst niedrig sein, die Formgebung sollte sich ruhig an die Landschaft anpassen und die Aussicht auf den Fluß mit seinen schönen Niederungen sollte vom Zuge aus möglichst unbehindert sein.

Aus diesen Gründen sollte die Formgebung im ganzen und in allen Einzelheiten möglichst einfach sein; die Hauptabmessungen mußten so gewählt werden, daß die im Werke völlig fertiggestellten Träger unzerlegt zur Baustelle angefordert werden konnten.

Da nur eine geringe Bauhöhe zur Verfügung stand, mußte eine untenliegende Fahrbahn mit Quer- und Längsträgern gewählt werden.

Als Hauptträger wurden Vollwandträger von solcher Höhe gewählt, daß die einzelnen Träger auf Kähnen verladen noch unter den festen Brückenöffnungen der IJssel hindurchbefördert werden konnten.

Die Stegblechhöhe wurde aus diesem Grunde auf 2,50 m festgestellt; das Stegblech konnte dabei noch in einer Breite gewalzt werden und vom Zuge aus entsteht die geforderte freie Aussicht über die Hauptträger hinweg. Weil aber eine so niedrige Hauptträgerhöhe für die zwei Flußöffnungen nicht ge-

nügte, bestand die schönste Lösung darin, für diese Hauptträger dieselbe Höhe zu wählen und diese Träger als Langersche Balken auszubilden, damit ein gleich hohes, volles Verbindungsband zwischen den beiden Ufern entsteht.

Der Schifffahrt wird der bewegliche Teil durch die zwei Hubtürme deutlich angezeigt, während die Verstärkungsbogen die Wirkung der Langerschen Balken zum Ausdruck bringen. Die Hauptbestandteile der Trägerreihe werden dadurch ausdrucksvoll betont.

Die Untergurte wurden, um ihre Verbindung mit den Hängestäben der Langerschen Balken einfach zu gestalten, als Doppelträger in Hutform ausgebildet.

Die Hauptträger der übrigen Öffnungen haben dieselbe Grundform bekommen, worauf bei der Beschreibung der Hubbrücke näher zurückzukommen sein wird.

Die Hauptträger der Brückenfelder über der linken Niederung sind als durchlaufende Träger über drei, die der Brückenfelder über der rechten Niederung als durchlaufende Träger über fünf Stützen ausgeführt.

Die Hauptträger der Hubbrücken sind Träger auf zwei Stützen, weil der alte Drehpfeiler abgebrochen wurde.

Die Hubtürme sind in sich selbst standsicher und fest mit den Pfeilern verbunden.

Die Hubpfosten sind in der Ebene der Hauptträger angeordnet und durch Querverband miteinander verbunden, desgleichen auch mit den sogenannten Stabilitätspfosten, von denen für die beiden Hubbrücken drei im ganzen angeordnet sind; sie dienen zur Erzielung der in Längsrichtung benötigten Standsicherheit.

Bei dieser Ausführung, die durch die geringe Hubhöhe ermöglicht wurde, fehlt die sonst gebräuchliche Strebe, die sich auf die festen Nachbarträger abstützt. Die Türme wurden dadurch unabhängig von der Durchbiegung jener Träger und entstellen außerdem die Gestalt der Brückenreihe nicht.

Die Stabilitätspfosten sind vollwandig, aber durch kreisförmige Aussparungen belebt.

Um die Einzelherstellungen und damit die Werkarbeit zu vereinfachen, wurden die Stützpunktabstände derartig gewählt, daß

1. die Brücken auf drei und die auf fünf Stützen gleich lange Felder bekamen,

2. die schmalen Landpfeiler möglichst zentrisch belastet wurden (die Abstände zwischen diesen Pfeilern sind ungleich),

3. eine durchlaufend regelmäßige Nietteilung erhalten wurde, die nach Abmessungen und Bohrung gleiche Verbindungen zwischen Quer- an Hauptträgern, gleiche Stegblech- und Gurtwinkelstöße ergab u. dergl. mehr.

Dadurch entstanden drei verschiedene Querträgerabstände. Für die Gleichmäßigkeit wurde der am schwersten belastete Quer- und Längsträger als Norm festgehalten, auch wurden alle Quer- und alle Längsträger gleich bemessen, ebenso ihre gegenseitigen Verbindungen. Alle Längsträger von gleicher Länge sind einander ähnlich, was die Anordnung von Rostschutzplatten und Stützwinkelisen erleichtert und durch Verwendung thermitisch geschweißter Schienen ermöglicht wurde.

Eine wichtige Voraussetzung ist, daß in Holland, wenn möglich, die gewöhnliche Dicke der Schwellen von 15 cm auf Brücken beibehalten wird. Hiernach und wegen der Verwendung von Schienenstühlen auf Brücken wird der Abstand von Mitte zu Mitte Längsträger 1,54 m.

Damit die Brückenschwellen große Auflagerfläche bekommen, werden Breitflanschträger als Längsträger bevorzugt. Um diese gegen Abnutzung zu schützen, werden unter den Brückenschwellen sogenannte Rostschutzplatten in einer Dicke von 10 mm angeordnet; um dem Wandern der Schwellen entgegenzuwirken, werden die Schwellen zwischen Stützwinkelleisen eingeschlossen, die 260 mm Abstand haben.

Die Längsträger sind zur Aufnahme des Übergangsmomentes an der Anschlußstelle der Querträger mit durchgehenden Platten versehen; die Querkraft wird durch senkrechte Winkeleisen auf den Querträger übertragen.

Um die Konstruktionshöhe zu verkleinern, sind die oberen durchgehenden Platten durch das Querträgerstegblech hindurchgeführt und gleich breit wie die Längsträgerflanschen. Die zur Aufnahme der Normalkraft benötigten Niete werden nicht versenkt, so daß die an diesen Stellen liegenden Schwellen an der Unterseite zur Freihaltung der Nietköpfe ausgespart werden müssen.

Unter den zwischenliegenden Schwellen werden die Rostschutzplatten versenkt vernietet.

Weil bei der Erläuterung der in Holland üblichen Fahrbahnkonstruktion schon die Anordnung des Oberbaues gestreift wurde, soll diese unter Hinweis auf Abb. 2 näher betrachtet werden.

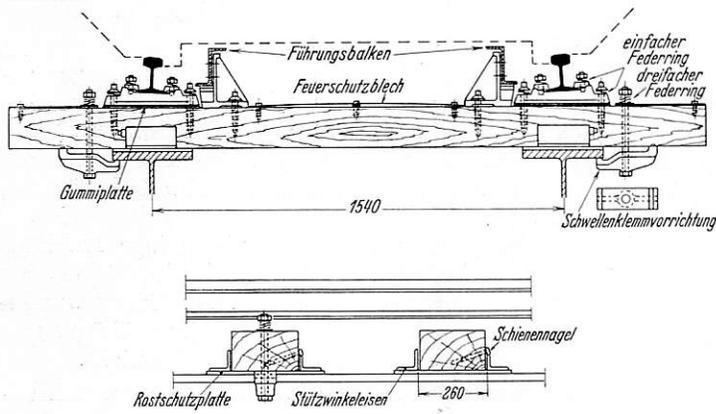


Abb. 2. Brückenoberbau.

Die Brückenschwellen sind aus Eichenholz, rechteckig besägt und mit Teeröl getränkt; die Abmessungen sind  $15 \times 25 \times 260$  cm. Die getrennte Schienenbefestigung wird bewirkt durch die gußeisernen Stühle von 50 mm Stärke und Schienenaflagerflächen von  $30 \times 122$  mm, wie sie seit 1912 in Holland üblich sind. Die Stühle werden an den Schwellen maschinell befestigt durch je vier Schienenschrauben mit Federringen unter Zwischenfügung von konischen, getränkten hölzernen Futterringen zwischen Schienenschraube und Stuhl, was eine unverschiebbare Verbindung gewährleistet.

Die Schienen werden durch je zwei flußeiserne Klemmplatten und zwei Klemmbolzen mit einfachem Federring befestigt.

Auf Brücken wird zwischen Stuhl und Schwelle eine Gummiplatte von 4 mm Dicke angeordnet.

Der Zweck dieser Gummiplatten ist dreifach und zwar:

1. Erreichung einer elastischen Schienenaflagerung, wodurch die Thermitschweißungen geschont werden.

2. Förderung einer ruhigen Fahrt, weil auch die waagerechten Stöße mehr oder weniger federnd aufgenommen werden.

3. Vermeidung von Brüchen der Schienenstühle, die zwar in Gleisen auf der freien Strecke nicht auftreten, aber auf Brücken eher erwartet werden müssen; denn die Unterseiten der Stühle werden nicht gehobelt und die Auflagerung auf hartem Holz, weiterhin auf einer nur in geringem Maße federnden Stahlkonstruktion kann leichter zum Bruch führen.

Damit die Schienenschrauben durch Eindrückung der Gummiplatten unter Belastung nicht locker werden, sind zwischen dem Schienenstuhl und den Köpfen der Schienenschrauben einfache Federringe angewandt.

Um das Gleis gegen Verschiebung in der Querrichtung zu sichern, wird neben den Außenseiten der Stützwinkelleisen in einer Schwellenseite je ein Schienennagel geschlagen, nachdem

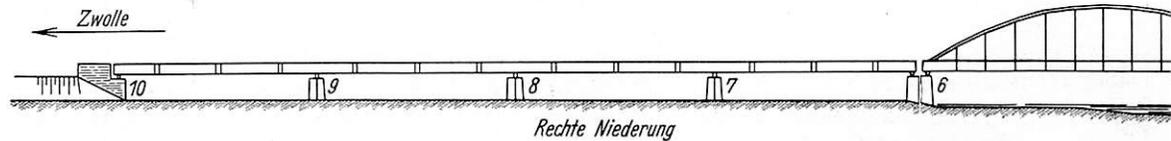


Abb. 1. Die Brücke über die IJssel.

das Gleis ausgerichtet ist und die Löcher vorgebohrt worden sind.

Das Gleis wird außerdem, je nach der Feldlänge, an zwei oder drei Stellen an den Längsträgern senkrecht verklemt.

An der Innenseite des Gleises werden noch Führungsbalken aus Z-Eisen, mittels gußeiserner Stühle befestigt, angeordnet; diese Führungsbalken haben den Zweck, vor oder auf der Brücke entgleiste Achsen über die Brücke zu leiten, ohne daß die Wagen mit der Tragkonstruktion in Berührung kommen können.

Als Fahrbahnabdeckung werden etwa 6 mm dicke Platten als Waffel- oder Warzenblech oder dergleichen benutzt; die der Fußsteige sind gelocht.

Beim Übergang der Schienen von der Hubbrücke auf die festen Brücken sind Fugen von 30 mm vorgesehen worden; diese Fugen werden überbrückt durch Schmiedestücke, die an den Schienen der Hubbrücke befestigt sind und über die erste Schwelle der festen Brücken hinausragen.

Die Enden dieser Schmiedestücke und die der Schienen beiderseits der Fugen sind im senkrechten Sinn schräg abgehobelt. Die Radbelastungen werden daher vor der Fuge vom Schmiedestück übernommen und hinter der Fuge wieder an die Schiene abgegeben, so daß ein vollkommen stoßfreier Übergang entsteht. Die Ausführung ist derartig, daß die Schmiedestücke zur Auflagerung auf der ersten Schwelle der festen Brücken gelangen, gerade bevor die Hubbrücke auf ihren Auflagern zum Aufrufen kommt. Damit die Endschwellen der Hubbrücke nicht klappern, sind diese Schwellen in senkrechter Richtung gegen die Längsträger nach unten und oben elastisch verklemt durch 12 mm dicke Schwammgummiplatten unterhalb und dreifache Federringe oberhalb dieser Schwellen. Die an der Unterseite der Endquerträger befestigten Zentrier- vorrichtungen führen die Schmiedestücke schon senkrecht, wenn die Unterkante des Fußes sich noch etwa 50 mm oberhalb der Schienenoberkante befindet.

Die an die Hubbrücken anschließenden Brückenträger haben auf den mit der Hubbrücke gemeinsamen Pfeilern feste Auflager; die Brücken auf fünf Stützen und die anschließenden Langerschen Balkenbrücken haben auf dem gemeinsamen Pfeiler sechs feste Auflager.

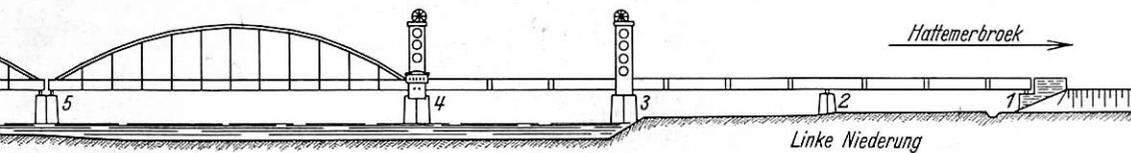
Ausziehvorrichtungen sind bei den beiden Widerlagern und zwischen den zwei Langerschen Balkenbrücken angeordnet.

Die längste, thermitisch zusammengeschweißte Schiene mißt etwa 230 m.

Wie schon mitgeteilt, wurde als Hauptträger ein Hutprofil von der in Abb. 3 angegebenen Grundform gewählt. Zu benötigten Verstärkungen wurden unten und oben Gurtbleche aufgenietet.

Auf diese Weise kam man bei der Hubbrücke mit vier Lamellen oben und drei an der Unterseite aus, was mit der Stoßlamelle zusammen eine nicht zu große Nietdicke ergab. Bei den Langerschen Balkenbrücken genügte das Grundprofil allein für den Untergurt; dieser hätte also leichter sein können. Gewichtersparnis durch Anwendung anderer Dicken und Profile hätte aber zu keinem Kostenvorteil geführt.

Die Hubbrücken sind an jeder Ecke durch einen Gleichgewichtsregler mit sechs Stahlkabeln von 34 mm Stärke über Kabelräder von 2,20 m Durchmesser mit den Gegengewichten



i Hattemerbroek. Gesamtansicht.

verbunden. Die Gleichgewichtsregler sind aus Abb. 4 ersichtlich, die einen Durchblick durch die Langersche Balkenbrücke der ersten Brückenreihe von der Hubbrücke aus darstellt; nebenan ist die alte Gitterfachwerkbrücke sichtbar.

Die Gegengewichte bestehen aus Stahlskeletten mit Eisenbetonummhüllung und sind mit Stampfbeton, teilweise mit Putzen beschwert, ausgefüllt.

Für gußeisernen Regelballast ist ein genügend großer Raum vorgesehen. Eine Vorrichtung zum Unterfangen der Gegengewichte wurde angeordnet.

Die Hubbrücken werden an je vier Stahlkabeln von 17 mm Stärke auf- und abwärts bewegt; dazu sind in den Hauptträgern Kabeltrommeln mit angebauten Zahnkränzen angeordnet, die durch einen in Brückenmitte aufgestellten Kollektormotor von 20 PS über Zahnradgetriebe, Verbindungswelle und zwei Ritzel angetrieben werden. Da die Bewegung von der Mitte der Brücke ausgeht, sind Rechthaltekabel überflüssig.

Die zwei Gegengewichte sind zusammen um 2 t leichter als die Hubbrücke, wenn man von dem im niedergelassenen Zustand auftretenden Übergewicht der Hängkabel absieht.

Durch dieses Übergewicht der Brücke wird es möglich, sie aus der gehobenen Lage niederzulassen, falls unvermutet der Strom ausbleiben sollte; die Räderachsen der Hängkabel sind deshalb mit Rollenlagern ausgestattet.

Die Hubbrücken werden außerdem im befahrbaren Zustand durch die Niederzugkabel mit einer Kraft von 0,5 t je Kabel auf die Auflager niedergedrückt, was auch eintritt, wenn die Brücke stromlos niedergelassen wird, so daß immer ein positiver Auflagerdruck von 1 t je Stützpunkt entsteht.

Eine Verriegelung der Brücken wurde nicht vorgesehen, weil die niederdrückende Kraft je Kabel mindestens 0,5 t sein muß, bevor das Brückenschloß eingeschoben wird und die Signale auf freie Fahrt gestellt werden können.

Da das Sicherungsgestänge und das Brückenschloß an der

Stahlkonstruktion unabhängig vom Gleis befestigt sind, wäre es möglich, die Hubbrücke auf ihre Lager zu zwingen und das Brückenschloß zu schließen, auch wenn die gleiche Höhenlage der Schienenenden der Hubbrücke und der festen Brücken nicht erreicht wurde.

Dieser Fall könnte eintreten, wenn auf die freigewordenen Stühle der von der Hubbrücke überragenden Schienenenden feste Gegenstände fallen sollten, wodurch diese Schienenenden gehoben werden würden. Damit in dieser Lage das Brückenschloß nicht geschlossen werden kann, wurde noch eine besondere Sicherung in Gestalt eines seitlichen Riegels angeordnet. Dieser seitliche Riegel und der Riegel des Brückenschlosses werden voneinander abhängig zusammen bewegt. Wenn also der seitliche Riegel ein Loch, das sich in einem am Fuß des Schienenendes der Hubbrücke befestigten Blech befindet, nicht findet, kann das Brückenschloß nicht geschlossen werden.

Die beweglichen Brücken werden von einem auf Pfeiler 4 aufgestellten stählernen Bedienungshäuschen aus bedient. Die beiden Hubbrücken sind nicht miteinander verbunden, es wird vielmehr jede für sich bedient. Sollte unvermutet eine längere

Störung bei der Bedienung einer der Hubbrücken entstehen, so können die Züge über die andere Brückenreihe durchgeführt werden.

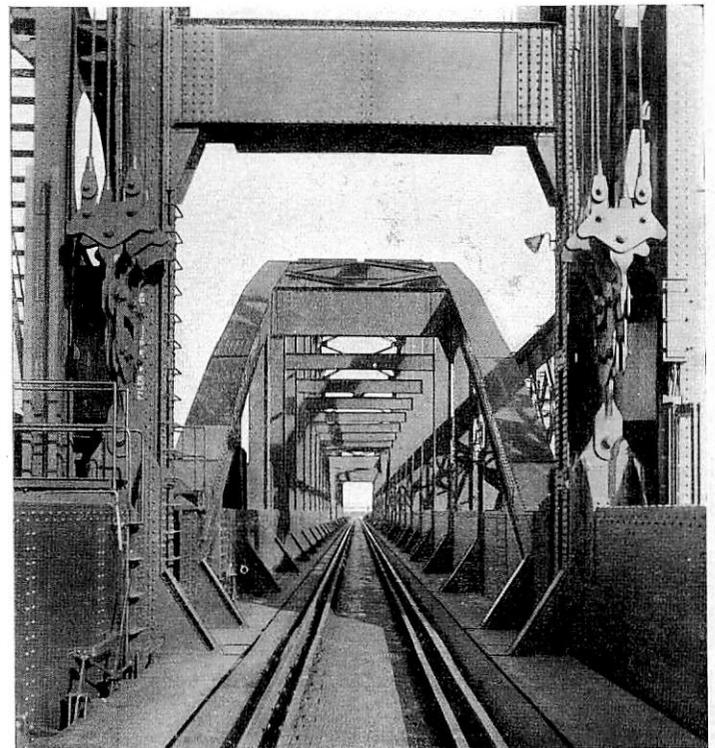


Abb. 4. Gleichgewichtsregler der Hubbrücke und Innenansicht der Langerschen Balkenbrücken.

Der Strom wird den auf den Hubbrücken aufgestellten Motoren durch biegsame Kabel zugeführt; diese Kabel werden durch je ein Rad belastet, deren Wellen in an den Hubtürmen angeordneten Rillen geführt werden, wodurch Schwingungen bei Wind verhindert werden.

Windkräfte während der Bewegung werden von Sturmrollen aufgenommen, die in der Längs- wie in der Querrichtung federnd angeordnet sind.

Die festen Auflager der Hubbrücken sind als gewöhnliche

Gelenklager ausgeführt; der obere Sattel ist in der Längsrichtung, der untere in der Querrichtung zentrierend bearbeitet.

Die beweglichen Lager der Hubbrücken sind als in Querrichtung zentrierende Pendel ausgebildet, die beim Heben der Brücken durch Blattfedern aufrecht gehalten werden.

Alle Auflager, auch die der festen Brücken, sind aus einem gußeisernen Tragstuhl und einem Unter- und Obersattel aus Stahlguß zusammengesetzt; zwischen beiden liegt eine Gelenkachse für die festen Auflager oder ein Pendel für die beweglichen, beide aus Schmiedestahl. Die gußeisernen Tragstühle sind durch Ankerbolzen mit dem Mauerwerk fest verbunden, wobei eine 3 cm starke Zwischenschicht aus Zementmörtel eingeschaltet ist.

Die Löcher im oberen Teil der Tragstühle wurden zur Durchführung der Befestigungsbolzen des unteren Sattels erst nach beendeter Aufstellung der Brücken gebohrt, um die richtige Lage der Brücken in Quer- und Längsrichtung zu gewährleisten.

Die Oberseiten der Tragstühle sind — wie aus Abb. 5 ersichtlich — einseitig vergrößert, damit nötigenfalls zum Anheben eines Brückenendes ein Hebebock aufgesetzt werden

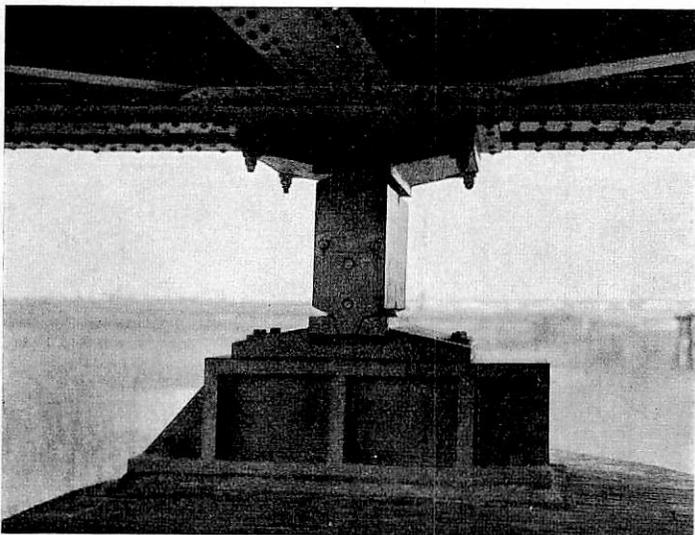


Abb. 5. Bewegliche Lager.

kann, wenn die Auflagerung zur Durchsicht oder dergl. unterfangen werden muß.

Wie schon mitgeteilt, sind die Flußöffnungen als Langersche Balkenbrücken ausgeführt. An jedem Querträger ist ein Hängestab vorgesehen; die Untergurte sind durch außenliegende Winkelisen an den Hängestäben befestigt.

Die Aussteifungen der Stegbleche sind ebenso wie bei den Hauptträgern der anderen Brücken an der Innenseite des Hutprofils angeordnet, so daß die Außenwände ganz flach sind (Abb. 6).

Die Ansicht der Brückenreihe wird nicht durch unruhige Schattenstreifen beeinträchtigt, wie Abb. 7 zeigt. Nur bei den Flußöffnungen machen kleine Schattenflächen die Wirkung der Hängestäbe klar.

Die Stabbogen sind an den Anbindestellen der Hängestäbe gegenseitig durch Querbalken verbunden; der obere Windverband ist aus Stäben zusammengesetzt, die sich in der Mitte der Verbindungsbalken kreuzen und nach den Mitten der Obergurtstäbe gerichtet sind. Die Hängestäbe zwischen dem zweiten und dem dritten Feld sind mit dem Querverband als steife Endrahmen ausgebildet, die so hoch sind, daß bei Einführung des elektrischen Betriebes der Fahrdrabt ohne Einschränkung der Höhe durchgeführt werden kann.

Zur Erhöhung der seitlichen Steifigkeit sind die zwischenliegenden Hängestäbe in der Höhe der steifen Endrahmen gegenseitig gekuppelt.

Die Brücken haben nur eine geringe Überhöhung bekommen, weil sie auch von leichten Triebwagen befahren werden.

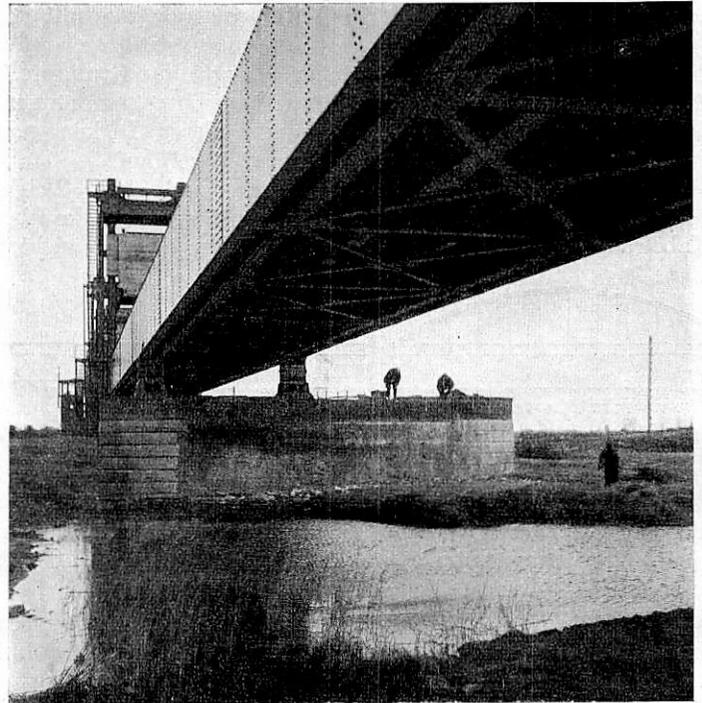


Abb. 6. Landöffnung. Ansicht von unten.

Die über dem Fluß liegenden Brückenträger sind mit einem Untersuchungswagen ausgestattet.

Die Fahrbahn, die Wind- und Querverbände, die Hängestäbe der Flußöffnungen, die Fußsteige und die Querschotten sind aus St 37, die sonstigen Teile aus St 52 hergestellt. Die Nieten für die Teile in St 52 sind aus St 42.

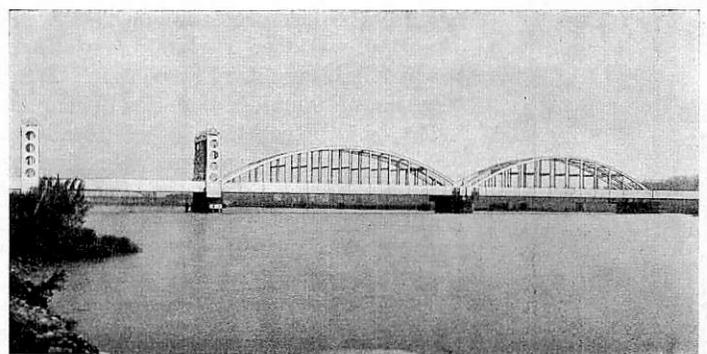


Abb. 7. Ansicht der Hubbrücke und der Flußöffnungen.

Im ganzen sind zu den beiden Brückenreihen an Walz-, Guß- und Schmiedestahl etwa 4400 t verarbeitet.

Alle Stahlteile mit Ausnahme der Feuerschutzplatten, der Eisenarmierung und der Stahlskelette der Gegengewichte und der Führungsbalken sind nach vorheriger Bearbeitung noch vor dem Zusammenbau völlig mit Sandgebläse rostfrei gemacht und dann unmittelbar mit Eisenmennige angestrichen worden.

Nach beendeter Aufstellung auf der Baustelle wurden nach Ausbesserung der beschädigten Stellen die Brücken noch einmal mit Eisenmennige gestrichen, worauf die erste Deck-

schicht in Bleiweiß und die zweite Deckschicht in Aluminiumfarbe folgten.

Die Brückenteile I, II, III und V (vergl. Taf. 8) sind auf dem Werk in Vlissingen fix und fertig zusammengebaut und vernietet worden. Von den Brückenteilen IV und VI wurden die Untergurte mit Fahrbahn und unterem Windverband dort gleichfalls fix und fertig zusammengebaut und vernietet. Alle diese Teile wurden dann auf dem Wasserwege über eine Entfernung von etwa 290 km nach der Baustelle befördert.

Für diese Anfuhr war die Unterkante der Eisenbahnbrücke zu Deventer maßgebend.

Sicherheitshalber rechnete man mit einem Mindesthöhen-spiel von 0,38 m bei einem Wasserstand von 0,80 m über dem Mittelwasser bei Deventer. Man fand so, daß die zu befördern-den Brückenteile nicht höher als 4,20 m über die Wasserlinie reichen durften. Weil diese Höhe nicht zureichte, um die Brücken unmittelbar einfahren zu können, mußte eine Vor-richtung geschaffen werden, um die Brückenteile nach Ankunft auf der Baustelle auf den Kähnen zu heben.

Die Brückenteile wurden mit Ausnahme der Teile V auf vier Kähnen verladen und von vier über die nebeneinander-gestellten Kähne durchlaufenden, stählernen Jochen an acht Punkten unterstützt.

Das Heben auf den Kähnen geschah durch acht Perpetuumhebeböcke, die bereits vor der Fahrt auf den stählernen Jochen eingebaut und fest mit diesen verbunden wurden. Be-tätigt wurden die Hebeböcke von einer Motorpumpe, die an der Baustelle auf den Brückenteil aufgesetzt wurde.

Die Brückenteile wurden dem Fabrikhafen entlang mit einem Portalkran zusammengebaut und in Fahrhöhe auf Hilfs-wagen gesetzt, deren Fahrplan von Trägern gebildet waren, die am Lande von der Ufermauer, im Wasser von Pfahljochen unterstützt waren. So wurden die Teile quer über die Kähne geschoben.

Zum Übernehmen der Brückenteile auf die Kähne wurde der Wasserspiegel durch Wassereinlaß in den Fabrikhafen während der Flut erhöht. Damit während der Fahrt, die zu einem großen Teil über offenes Wasser ging, auch bei größerer Windstärke Sicherheit gegen Kentern gewährleistet sei, wurden die dazu nötigen Gleichgewichtsbedingungen genau vorausberechnet.

Die Fahrten von Vlissingen nach der Baustelle, die im Mittel drei bis vier Tage dauerten, verliefen glatt.

Die Aufstellung der Brückenteile auf der Baustelle sei im folgenden für das erste Gleis geschildert; die zweite Brücken-reihe wurde in gleicher Weise aufgestellt.

Da die Fahröffnung für Schiffe, die unter den festen Brücken durchfahren können, zwischen den Pfeilern 4 und 5 liegt, sollten in dieser Öffnung nur Gerüste gestellt werden dürfen, wenn ein kostenloser Hilfsschleppdienst eingerichtet wurde. Es wurde daher die seichte Öffnung zwischen den Pfeilern 5 und 6 als Abstellplatz gewählt und dazu an dieser Stelle der Boden ausgebaggert bis zu einer Tiefe, daß die mit Brückenteilen beladenen Kähne fahren konnten. In der Mitte dieser Öffnung wurde ein Pfahljoch geschlagen, das zusammen mit den Pfeilern 5 und 6 die Brückenteile I und II von den Kähnen übernahm. Die Brückenteile wurden dann von der östlichen Flußöffnung und über die Pfeiler und dazwischen geschlagene Hilfspfahljoche hinweg nach ihren endgültigen Stellen auf Rollen verfahren, wie in Abb. 1 bis 6, Taf. 8 dargestellt.

Der Brückenteil III wurde in der Öffnung zwischen den Pfeilern 4 und 5 herangeführt, wofür eine kurze Unterbrechung der Schifffahrt gestattet werden konnte; er wurde gemäß Abb. 7 bis 9, Taf. 8 nach seiner Lage über der linken Niederung übergerollt.

Zum Verrollen waren auf den Pfeilern und den Hilfspfahl-jochen Laufrollen nach Abb. 10, Taf. 8 angeordnet, auf die sich die Brückenteile beim Verrollen stützten, und zwar mit Laufschiene, die an den Innenhälfen der Hauptträger vor-übergehend befestigt waren und die am vorderen wie am hinteren Ende mit Auf- bzw. Ablaufschnäbeln versehen waren. Die Laufrollen waren zusammengesetzt aus einem Gestell und zwei Rollen von 250 mm Durchmesser, die sich um feste Achsen unter Vermittlung zylindrischer, hartstählerner Stäbe nach Art von Rollenlagern drehten. Die Unterflächen dieser Gestelle waren abgerundet, um den Druck auf beide Rollen zu verteilen.

Das Verschieben dieser Brückenteile, von denen jeder etwa 300 t wog, wurde mit einer Motorwinde des Schwimmbockes, der dem Flußufer zunächst lag, bewerkstelligt. Zur Zugüber-tragung diente ein am Endpfeiler befestigter Block.

Mit einer Kraft von etwa 2 t an der Trommel und über einen Vier- und Dreierrollenblock ergab sich eine tatsächliche Zugkraft von etwa 12 t. Damit konnten die Brückenteile leicht verrollt werden, auch wenn der bewegte Brückenteil auf den Lauf-rollen allein ruhte.

Von dem Brückenteil IV wurde der fertig aus dem Werke kommende Untergurt mit Fahrbahn und unterem Windverband zwischen den Pfeilern 5 und 6 eingefahren. Er wurde dann aufgelagert auf dem in der Öffnung geschlagenen Pfahljoch und auf Hebeböcken, die auf den Pfeilern 5 und 6 aufgestellt waren und in dieser Lage mittels eines Schwimmbocks weiter zusammengesetzt.

Die Stabbogen samt ihren Hängestäben waren in der vor-geschriebenen Überhöhung auf dem Werke ausgelegt und dabei die Nietlöcher gebohrt worden. Wenn also bei der Schließung der Stabbogen die Nietlöcher übereinstimmten, was durch die Abstützung auf den Hebeböcken ermöglicht wurde, mußte nach Durchbiegung unter dem Eigengewicht die übrigbleibende Überhöhung die richtige werden.

Die Untergurte wurden auf dem Werke in der vorge-schriebenen Überhöhung vernietet; nachdem diese Gurte durch das Eigengewicht der Fahrbahn und des Unterwindverbandes bis zu dem Maß, durchgebogen waren, das mit der an der fertigen Brücke übrigbleibenden Überhöhung nach Durch-biegung durch Eigengewicht übereinstimmte, wurden die Ver-bindungen der Längs- und Querträger und die des Unterwind-verbandes auf dem Werke fertig vernietet. Die vorgenannten Verbindungen kamen daher nach beendeter Aufstellung span-nungslos in die Brückenkonstruktion.

Der Brückenteil, der zwischen die Pfeilern 4 und 5 zu liegen kam, wurde nach beendeter Zusammensetzung zwischen den Pfeilern 5 und 6 auf quer unter der Brücke gestellten Kähnen ausgelegt, ausgefahren und auf seiner endgültigen Stelle verlegt.

Die Hubbrücke wurde gemäß Abb. 11, Taf. 8 auf zwei Kähnen herangeführt und zunächst auf Pfeiler 5 und dem Hilfspfahljoch zwischen den Pfeilern 5 und 6 abgestützt. So-dann wurde sie auf vier quergestellten Kähnen, zwei zu zwei gekuppelt, zwischen den Pfeilern 3 und 4 eingefahren, sofort 5 m hoch gehoben und mit den Hängekabeln verbunden. Die Bewegungsvorrichtung war auch fix und fertig im Werke auf der Brücke angebracht worden.

Die Gegengewichte wurden nach dem Einbringen vom Brückenteil III auf den Pfeilern 3 und 4 abgestützt und mit Beton gefüllt, während die Hubtürme mit dem Schwimmbock aufgestellt wurden.

Zum Schluß wurde der Brückenteil VI auf seiner planmäßigen Stelle zwischen den Pfeilern 5 und 6 zusammen-gesetzt.

## Eisenbahnbrücke über den Zambesi in Ostafrika.

Von Reichsbahnoberrat i. R. Sander, Detmold (Lippe).

### 1. Allgemeines.

Eine Bauausführung größten Umfangs wurde nach einer Schilderung in der Zeitschrift „Modern Transport“ kürzlich in Ostafrika beendet; eine Überbrückung des Zambesistromes, die mit ihrer Länge von 3680 m zwischen den Endwiderlagern die längste Brücke der Welt darstellt. Wie die Lageskizze (Abb. 1) zeigt, dient die Brücke zur Verbindung des fruchtbaren Nyassalandes mit dem portugiesischen Seehafen Beira. Durch Verlängerung der Nyassaland-Eisenbahn in nördlicher Richtung wird auch der Nyassasee in das Verkehrsgebiet mit einbezogen, das außerdem durch Verbesserung der Zufuhrstraßen erweitert ist. Nyassaland hat in seinen höhergelegenen

ergab sich häufig die Notwendigkeit, die Anlegestelle der Fähre so weit von den planmäßigen Plätzen zu verlegen, daß die dort vorhandenen Verladevorrichtungen (Kräne usw.) nicht benutzbar waren, und daß das Verladegeschäft von Hand über steile Böschungen bewerkstelligt werden mußte. Bei niedrigem Wasserstand durften die Schleppkähne nur teilweise beladen werden; außerdem konnten die Schleppdampfer nicht bis an die Ufer heranfahren, zumal da häufig noch eine Verschlammung der Fahrrinne eintrat.

Wenn der Fluß Hochwasser führte, wurden die Dämme der Eisenbahnen durch Unterspülung vielfach derartig beschädigt, daß Chindio und Murraca lange Zeit vom Eisenbahnverkehr völlig abgeschnitten waren.

Die neue Brücke liegt auf portugiesischem Gebiet. Bereits im Jahre 1912 hat die portugiesische Regierung den beiden Eisenbahngesellschaften nördlich und südlich des Zambesi die Genehmigung zum Bau und Betrieb der Brücke erteilt mit der Maßgabe, daß die Brücke nach Ablauf von 99 Jahren in das Eigentum der portugiesischen Regierung übergeht.

Die neue Brücke liegt etwa 40 km stromaufwärts von der alten Fähre. Diese Lage wurde gewählt, weil sich hier die Eisenbahnen am besten heranführen ließen, der Strom zwischen fest abgegrenzten Ufern läuft und eine stets schiffbare Fahrrinne bildet. Bei Hochwasser beträgt die Entfernung zwischen den beiden Flußufern etwas über 3,5 km.

Da die veränderte Lage der Brücke erhebliche Verlegungen der Bahn erforderte, wurden gleichzeitig die übrigen Strecken durchgreifend verbessert.

Die Verladeanlagen im Hafen von Beira wurden gleichfalls erweitert und leistungsfähiger gemacht. Auf dem Nyassasee ist eine Verbesserung des Dampfverkehrs in Aussicht genommen.

Die Böschungen der Eisenbahndämme, die dem Angriff der Zambesiflutungen ausgesetzt sind, haben eine Neigung 1:2 und sind durch Steinpflasterung gesichert. Bemerkenswert ist die Verwendung eiserner Schwellen für die Gleise der freien Strecke, während auf der neuen Brücke Schwellen aus einheimischem Hartholz verlegt sind. Die Schienen und eisernen Schwellen haben ähnliche Formen wie die in Deutschland gebräuchlichen; die Schienen sind auf den eisernen Schwellen ohne Verwendung von Unterlegplatten durch Klemmplatten und Bolzen befestigt. Zum Schutz gegen Verrosten wurden die eisernen Schwellen in ein Gemisch von Gas- und Teeröl getaucht.

Die Anschlußstrecken der Bahn wurden beschleunigt fertiggestellt, um auf ihnen die Baustoffe für den Brückenbau heranzubringen. Anfänglich mußte der ganze Baubedarf in Lastkähnen zur Baustelle geschleppt werden. Im übrigen bietet die Vorbereitung des Baues das Bild, wie es ein Brückenbau von derartigen Ausmaßen mit sich bringt. Wiederholte eingehende Messungen und Peilungen an der Baustelle waren nicht nur wegen des wechselnden Wasserstandes nötig, sondern auch wegen der im Zambesi häufig auftretenden Änderungen des Flußbettes durch Auskolkungen oder Versanden. Zur Gewinnung des für die Gleisbettung und zur Herstellung des Betons erforderlichen Basalts wurden vier Steinbrüche angelegt. Zur Beförderung der Baustoffe wurden Dampfer mit Schleppkähnen in Dienst gestellt. Kräne, Bagger, Betonmischmaschinen u. dergl. vervollständigten das Bild einer großen Baustelle.

Die Verständigung zwischen den Baustellen auf beiden Ufern des Stromes wurde dadurch hergestellt, daß zwei eingebore Arbeiter durch Flaggsignale bei Tage und durch Lichtsignale bei Dunkelheit Morsezeichen übermittelten.

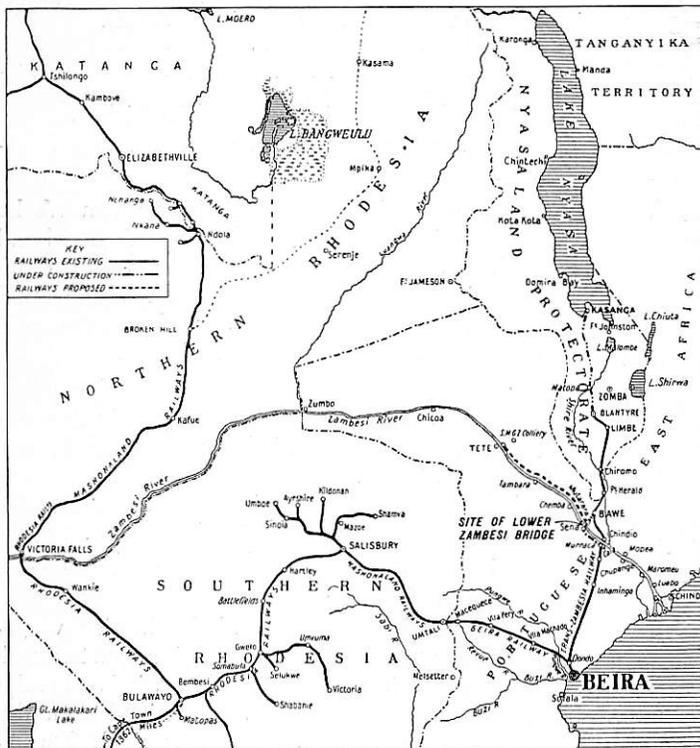


Abb. 1. Lageskizze der Zambesibrücke und der bestehenden und geplanten Eisenbahnen.

Englisch:	Deutsch:
Site of lower Zambesi bridge	Lage der Brücke über den unteren Zambesi
Railways existing under construction	bestehende Eisenbahnen im Bau
Railways proposed	geplante Eisenbahnen

Gebietsteilen ein für Europäer geeignetes Klima. Die wirtschaftliche Ausnutzung des Landes kann durch Verbesserung der Ausfuhrmöglichkeit erheblich gesteigert werden. Die bestehenden Eisenbahnen haben eine Spurweite von 107 cm.

Die neue Eisenbahnbrücke bildet den Ersatz für eine Fähre, die zwischen den nördlich und südlich am Zambesi gelegenen Eisenbahnstationen Chindio und Murraca verkehrte. Diese Fähre hat stets den Engpaß oder sogenannten Flaschenhals für den Verkehr von Nyassaland zur See, also zum Hafen Beira gebildet. Die geringe Leistungsfähigkeit der Fähre war natürlich maßgebend für den Verkehr auf den Eisenbahnen, der ohne diese Behinderung einen erheblich größeren Umfang hätte annehmen können. Außer der Verzögerung, die durch das doppelte Umladen zwischen Eisenbahn und Schiff entstand, fiel als Nachteil für den Fährbetrieb noch der erheblich wechselnde Wasserstand des Zambesi ins Gewicht. Hierdurch

## 2. Beschreibung des Brückenbaues.

Die Zambesibrücke besteht (vom rechten Ufer angefangen) aus einer Flutbrücke von 563,60 m Länge; im Strom folgen sieben Zwischenöffnungen und 33 Hauptöffnungen, dazu sechs Landöffnungen. Die Gesamtlänge beträgt 3680 m (Abb. 2 und 3). Die am rechten Ufer beginnende Flutbrücke (Abb. 4 und 5) besteht aus vollwandigen eisernen Trägern mit oben liegender Fahrbahn, die auf stählernen Böcken ruhen. Die Böcke sind aus zwei mit Zementmörtel ausgegossenen eisernen Säulen gebildet; diese sind zur seitlichen Versteifung durch Diagonalen miteinander verbunden. Zur Längsversteifung der Flutbrücke sind zwischen einzelnen Böcken eiserne Joche aus schräg-stehenden Stützen angeordnet. An jedem Bock sind Krag-träger aus Stahl zur Unterstützung des Fußweges angebracht. Die Höhe der Böcke ist verschieden, da sie sich nach der Höhe

Böcke sind in den Beton der Kopfplatten Bolzen eingelassen. Bei den Böcken, zwischen denen ein schräg-stehendes Joch zur Längsaussteifung angeordnet ist, sind die Kopfplatten der Pfahlgründung miteinander durch eisenbewehrte Betonbalken verbunden.

Die Untersuchung des Baugrundes für die Betonpfähle ergab bis zu einer Tiefe von 21 m Sand, der mit Schlamm sowie mit rotem und braunem Ton vermischt war. In einer Tiefe von 21 m lag Sandstein; doch wurde es nicht für erforderlich gehalten, die Pfähle bis zu dieser Tiefe herunter zu treiben, da, wie durch Belastungsproben festgestellt wurde, die Pfähle genügende Tragfähigkeit besaßen, wenn sie eine Tiefe von 12 bis 15 m erreicht hatten.

Die Flutbrücke liegt in der Waagerechten. Zwischen den Trägern für das Gleis und den Böcken, sowie zwischen den

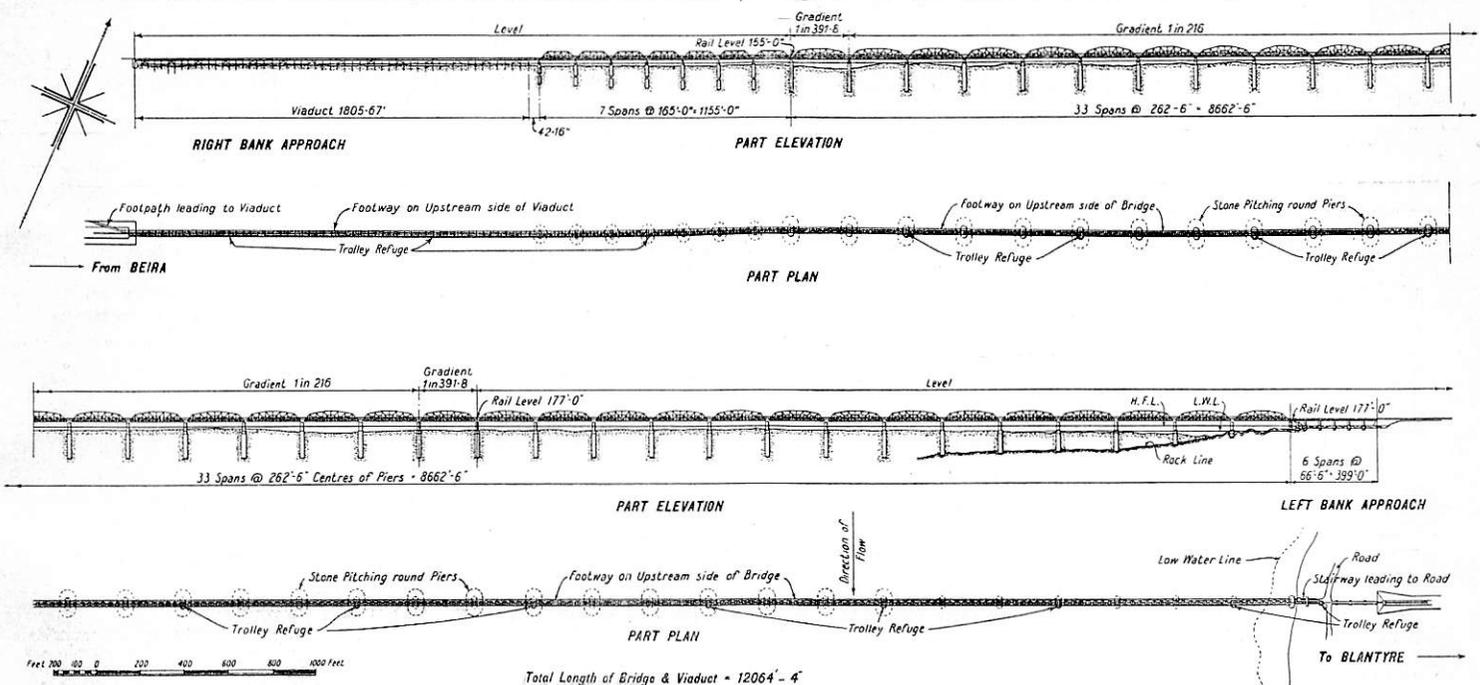


Abb. 2. Gesamtplan und Ansicht der Zambesibrücke und ihrer Zugänge.

### Übersetzung der wichtigeren Bezeichnungen.

Englisch:	Deutsch:	Englisch:	Deutsch:
Level	horizontal	Stone pitching round piers	Steinpackung um die Pfeiler
Gradient oder rise	Steigung	H. F. L.	Hochwasserhöhe
Rail level	Höhe von Schienenoberkante	L. W. L.	Niedrigwasserhöhe
Spans, main spans,	Öffnungen, Hauptöffnungen,	Rock-line	Felsoberfläche
Subsidiary spans	Nebenöffnungen	Part elevation	Teilansicht
right bank approach	Brückenende am rechten Ufer	Part plan	Teilgrundriß
left bank approach	Brückenende am linken Ufer		

des Flußbettes richtet; jedoch ist der Querschnitt der Säulen für die Böcke überall gleich, so daß die Ausbildung am Kopf und Fuß der Säulen für sämtliche Böcke nach Möglichkeit übereinstimmt. Auch für die Querversteifung der Böcke wurden nach Möglichkeit die Einzelteile gleichartig gestaltet. Die Böcke ruhen auf je einer Gruppe von „Vibro“-Pfählen aus eisenbewehrtem Beton, die in das Flußbett eingetrieben sind. Die Pfähle haben einen Durchmesser von 43 cm und tragen an ihrem unteren Ende einen gußeisernen Schuh. Die Eisenbewehrung besteht aus sechs Stäben von 2 cm Durchmesser mit Spiralumwicklung aus 8 mm starkem Eisendraht. Der Durchmesser der Spirale beträgt 13 cm, ihre Steigung 15 cm. Der mit Eisenportlandzement hergestellte Beton hat ein Mischungsverhältnis 1:2:4. Der Steinzuschlag war Basalt von höchstens 2 cm Korngröße. Die Pfähle jeder Gruppe sind an ihrem oberen Ende durch eine Kopfplatte (Abb. 6) aus eisenbewehrtem Beton miteinander verbunden; zum Anschluß der

Trägern für den Fußweg und den Kragträgern sind zur Ausdehnungsmöglichkeit bewegliche Verbindungen angeordnet.

Die Zahl der Pfeiler für die Hauptöffnung beträgt 34. Von diesen sind 32 auf Brunnen gegründet, die beiden übrigen am linken Ufer unmittelbar auf Fels. Die Entfernung von Mitte zu Mitte Pfeiler der Hauptöffnungen beträgt 80 m. Jeder Pfeiler trägt je ein festes und bewegliches gußstählernes Auflager für die Hauptträger in der bekannten sattelförmigen Ausbildung mit Rollen für die beweglichen Auflager. Von den Hauptöffnungen liegen 19 in Steigung, die übrigen 14 in der Waagerechten. Die Nebenöffnungen am linken Ufer bestehen aus vollwandigen eisernen Trägern mit oberliegender Fahrbahn; die Pfeilermitten haben eine gegenseitige Entfernung von 20,30 m. Die Nebenöffnungen liegen wieder in der Waagerechten und haben Auflager aus Gußstahl. Bei den sieben Zwischenöffnungen betragen die Entfernungen zwischen den Pfeilermitten 50 m.

An der stromaufwärts gelegenen Seite der Brücke befindet sich ein Fußweg, der auf dem rechten Flußufer an der Dammböschung des Endwiderlagers emporgeführt ist; am linken Flußufer endet er am letzten Pfeiler der Hauptöffnungen und wird dort auf einer Treppe zur Landstraße herabgeführt. Der Fußweg besteht aus Teermacadam auf stählernen Buckelplatten, die auf Gitterträgern ruhen, die gleichzeitig als Geländer dienen (Abb. 5). Diese werden von Kragarmen getragen, die an den Säulen der Böcke der Flutbrücke und an den Hauptträgern der Haupt- und Zwischenöffnungen angebracht sind.

herausgezogen. Nach jedem dieser Schläge sackte das Rohr um ein geringes Maß wieder nach unten durch. Auf diese Weise wurde eine stampfende Wirkung auf die noch weichen, äußeren Teile des Betons erzielt, wodurch diese mit dem umgebendem Erdboden in innige Berührung kamen, was natürlich die Tragfähigkeit des Pfahles erhöhte. Der eiserne Käfig der Bewehrung hatte eine Regellänge von 10,70 m. Sein oberes Ende lag bündig mit der Betonkopfplatte, das untere ragte in den festeren Baugrund hinein, den der untere Teil des Pfahles berührte. Bei Pfählen von 10,70 m Länge und kürzeren reichte die Bewehrung durch die ganze Länge des Pfahles.

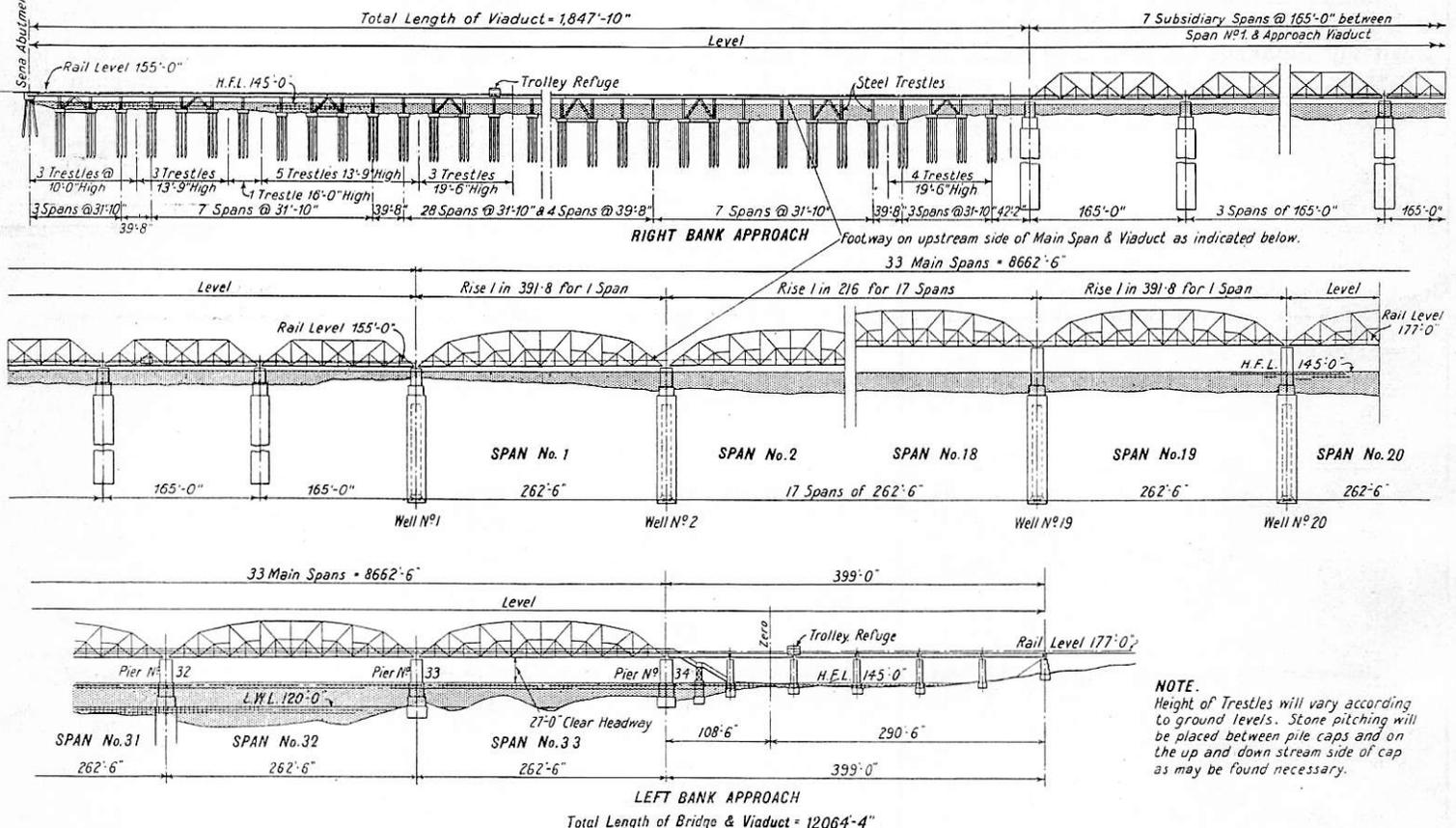


Abb. 3. Ansicht der Zambesibrücke mit Hauptöffnungen, Nebenöffnungen und Brückenden an beiden Ufern.

Englisch:

Note

Height of trestles will vary according to ground levels. Stone pitching will be placed between pile caps and on the up and down stream side of cap as may be found necessary

Steel trestles

Well

Pier

Deutsch:

Bemerkung

Höhe der Böcke wechselt entsprechend der Höhenlage der Erdoberfläche. Steinpackung wird angebracht zwischen den Kopfplatten der Pfähle und nach Bedarf auf der stromaufwärts und stromabwärts gelegenen Seite derselben

stählerne Böcke

Brunnen

Pfeiler

Bezüglich der übrigen Bezeichnungen siehe Abb. 2.

An der stromabwärts gelegenen Seite der Brücke sind in angemessenen Abständen Ausweichstellen für Kleinwagen angelegt, die ähnlich wie der Fußweg auf stählerne Kragarme abgestützt sind.

Zum Nieten wurde Druckluft verwendet, zum Zuschneiden der Eisenteile Sauerstoffgebläse, zum Anheben der Brückenden Druckwasserwinden.

Die Herstellung der Betonpfähle vollzog sich in der Weise, daß zunächst die Eisenrohrummantelung bis zur genügenden Tiefe eingerammt wurden; sodann wurde der Rammbar hochgehalten und die Eisenbewehrung in Form eines Käfigs abgesehenkt, der Beton in die Eisenrohre eingebracht. Nach Beendigung der Betonierung wurde die stählerne Ummantelung durch aufwärts gerichtete Schläge des Rammbars allmählich

Die Pfeiler für die Zwischen- und Hauptöffnungen wurden auf Brunnen gegründet (Abb. 7), jedoch mit Ausnahme der beiden letzten Pfeiler am linken Flußufer. Wo sich Fels nahe der Bodenoberfläche vorfand, wurde bei den nicht auf Brunnen gegründeten Pfeilern die Ausschachtung für die Gründung im Trocknen vorgenommen, nötigenfalls unter Verwendung eines Fangedamms oder sonstiger bewährter Hilfsmittel. Diese Gründungen wurden bis zu einer angemessenen Tiefe in den Fels hinabgeführt, jedoch nirgends weniger als 1,8 m bei den Nebenöffnungen und 3 m bei den Hauptöffnungen. Die Brunnen wurden auf Sand gegründet in einer Tiefe von 33,5 m unter Niedrigwasser. Wenn sich Fels vorfand, wurde folgendermaßen verfahren: Lag der Fels 24,5 m oder weniger unter Niedrigwasser, so wurden die Brunnen 3 m in den Fels ein-

gelassen. Lag der Fels 30 m unter Niedrigwasser, so wurde seine Oberfläche zur Aufnahme des Brunnens abgeglichen. Bei Lage des Felsens zwischen 24,5 und 30 m wurden die Brunnen im Verhältnis zu den genannten Maßen in den Felsen ein-

Beton auf den Brunnen notwendig, um die Brunnen auf volle Tiefe abzusenken. Wenn die auf Fels zu gründenden Brunnen soweit wie möglich durch offenen Aushub der Bodenmassen gesenkt waren, wurde zur Absenkung bis auf eine Tiefe von

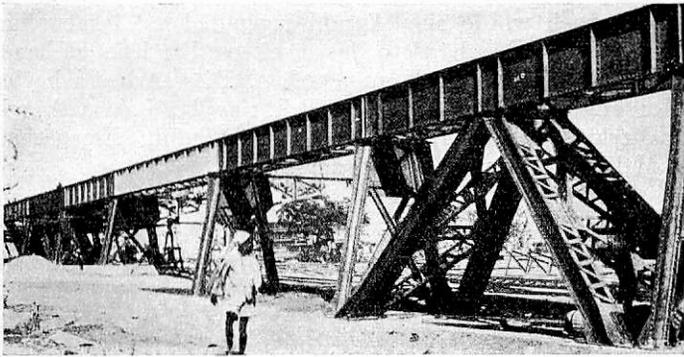


Abb. 4. Teilansicht des Viadukts am rechten Flußufer.

gelassen. Jeder Brunnen war mit einer stählernen Ummantelung versehen, die nach Bedarf noch mit stählernen Spreizen versteift wurden (Abb. 8). Zum Absenken wurden bewegliche Auslegerkräne benutzt, die mit Dampfkraft ge-



Abb. 5. Montage der stählernen Böcke und der Fußwegträger.

trieben wurden. Die Pfeiler und Brunnen für die Hauptöffnungen bestehen aus Beton, der durch senkrechte und waagerechte Stahlstäbe bewehrt ist. Wie vorausberechnet wurde, war zum Absenken der Brunnen auf ihre endgültige



Abb. 6.

Kopfplatte der Pfähle in gleicher Höhe mit der Erdoberfläche.

Tiefe in den sandigen Untergrund bei dem letzten Ring eine besondere Belastung im Gewicht von 650 t aufzubringen. Zu diesem Zweck wurden als Auflast gußeiserne Blöcke im Gewicht von 2000 t vorgehalten. Die Pfeiler wurden auf die Brunnen in Höhe des Niedrigwassers aufgesetzt; hierdurch wurde die Herstellung eines einstweiligen Fangedamms aus Ziegeln oder

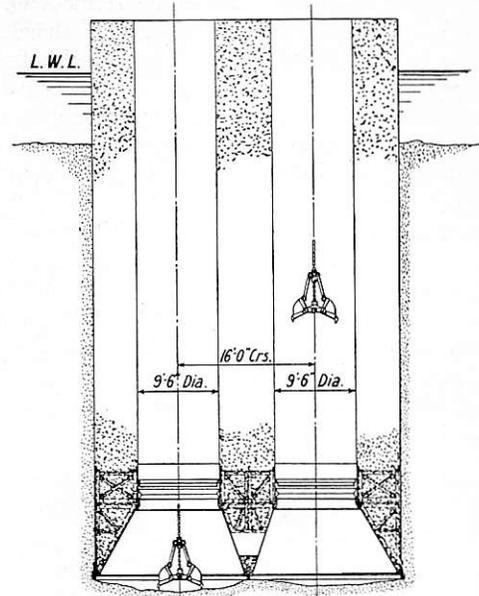


Abb. 7. Querschnitt durch einen Brunnen bei Absenkung durch Ausschachtung in offener Baugrube.

30,5 m Druckluft verwendet. Auch bei anderen Brunnen wurde Druckluft zu Hilfe genommen, wenn es notwendig wurde, Hindernisse wegzuräumen. Die in Sand gegründeten Brunnen haben eine Sandfüllung von 46 bis 60 cm Stärke über dem unteren Brunnenrand. Die Druckluftherzeuger wurden durch Dampfkraft angetrieben und hatten selbsttätige Schmierung.

Zum Aushub der Bodenmassen aus den Brunnen dienten Greifer von Halbkugelform mit Zähnen aus Manganstahl, deren Aufhängevorrichtung so gestellt war, daß das volle Gewicht des Greifers beim Fassen der Bodenmasse zur Geltung kam, wodurch natürlich eine gute Wirkung erzielt wurde (Abb. 9).

Die Pfeiler sind aus lageweise eingebrachtem Beton hergestellt, der durch senkrecht und waagrecht angeordnete Stahlstäbe bewehrt ist. Die der Gestalt der Pfeiler angepaßte Ummantelung für die Betonierung besteht aus Stahl und ist zur Vermeidung von Formänderungen infolge Druckes des

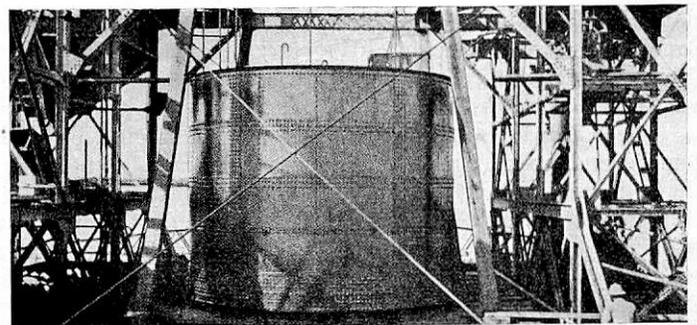


Abb. 8.

Brunnen mit stählerner Ummantelung bei Beginn der Absenkung.

weichen Betons ausgesteift. Das Mischungsverhältnis des Betons für die Kopfplatten der Pfeilern war 1:2:4, für die übrigen Teile 1:2,5:5. In gleicher Weise sind die sonstigen Pfeiler und Endwiderlager behandelt. Die Böschungen an den Endwiderlagern sind durch Steinpflasterung geschützt. Der für den Fußweg verwendete Teermacadam besteht aus zer-

kleinerem Sandstein, der mit Teer oder einer Mischung aus Teer und Bitumen vermischt ist. Die Decklage hat eine Stärke von 12 mm mit Steinen von 1 cm Stärke. Die Stärke der Steine für die Unterlage beträgt 2 cm.

Eine Gesamtübersicht der Baustelle zeigt Abb. 10.

Um das Wandern der Schienen auf der Brücke zu verhindern, ist an beiden Brückenenden das anschließende Gleis der Strecke auf zehn Schienenlängen auf Holzschwellen mit Wanderschutzvorrichtungen verlegt. Außerdem sind auf der Brücke selbst Wanderschutzvorrichtungen angebracht, auf der Flutbrücke über jedem schräggestellten Joch an einer Schienenlänge, bei den Hauptöffnungen in der Mitte jeder Öffnung an zwei Schienenlängen, bei den Nebenöffnungen an zwei Schienenlängen in jeder dritten Öffnung. Das auf der ganzen Brücke auf Holzschwellen verlegte Gleis ist überall mit Unterlegplatten versehen, die mit Schienennägeln auf den Schwellen befestigt sind. Zur Befestigung der Schienen auf den Unterlegplatten dienen gleichfalls Schienennägel. Die Entfernung von Mitte zu Mitte Schwelle beträgt 61 cm. Die Stoßlaschen haben flache Form mit vier Löchern.

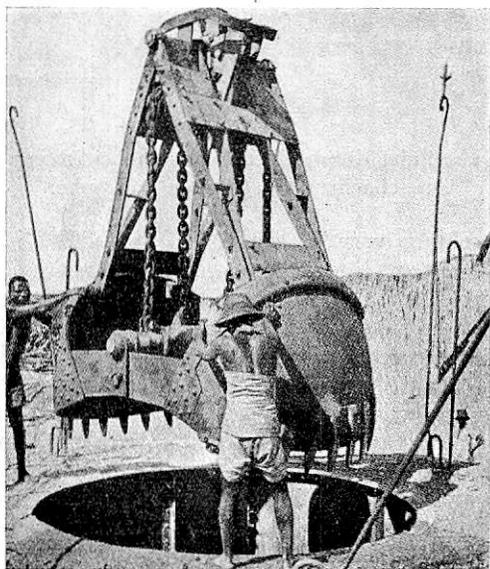


Abb. 9.

Niederlassen eines Greifers zum Bodenaushub aus dem Brunnen.

#### Fürsorge für die Werkleute.

Besondere Beachtung verdienen auch die erfolgreichen Maßnahmen, die bei dieser umfangreichen, vier Jahre dauernden Bauausführung in einer durch Fieber gefährdeten Gegend der Tropen zum Schutz der Gesundheit der Werkleute getroffen wurden.

Die Europäer waren in Häusern untergebracht, die nach dem sogenannten Bungalowtyp gebaut waren; sie enthielten vier oder sechs Schlafräume mit gemeinschaftlichen Wohnräumen, wobei jedes Haus als Messe mit eigener Verpflegung eingerichtet war. Lese- und Billardzimmer sowie Sportplätze verschiedener Art waren vorgesehen. Die Hütten für die Eingeborenen entsprachen der landesüblichen Form, hatten jedoch größere Abmessungen und waren in regelmäßigen Reihen oder Gebäudeblöcken angeordnet; auf Ordnung und Sauberkeit wurde strengstens gehalten. Es mußten 4000, zeitweise sogar 6000 Eingeborene mit Nahrung versorgt werden. Arzt und Apotheker mit den nötigen Instrumenten und Arzneimitteln sowie je ein Krankenhaus für Europäer und Eingeborene waren vorhanden.

Bei Beginn der Arbeiten wurde ein besonderer Sachverständiger zur Bekämpfung der Malaria an die Baustelle entsandt, um die hierfür erforderlichen Maßnahmen in die Wege

zu leiten. Zu diesem Zweck wurde das Gelände im Umkreis von 800 m rings um die Wohnstätten, desgleichen die Ufer des Zambesi von Buschwerk und sonstigem Pflanzenwuchs gesäubert, stehendes Wasser wurde soweit als möglich durch Drainage oder Ausfüllen der Bodensenkungen beseitigt.

Hiernach wurde eine Anzahl jugendlicher Eingeborenen ständig damit beschäftigt, das noch vorhandene stehende Wasser mit einer Ölschicht zu versehen. Diese Arbeiter hatten außerdem die Aufgabe, wöchentlich eine bestimmte Anzahl von Moskitos zu fangen, um diese vom Arzt auf ihre Eigenschaft als Malariasträger untersuchen zu lassen.

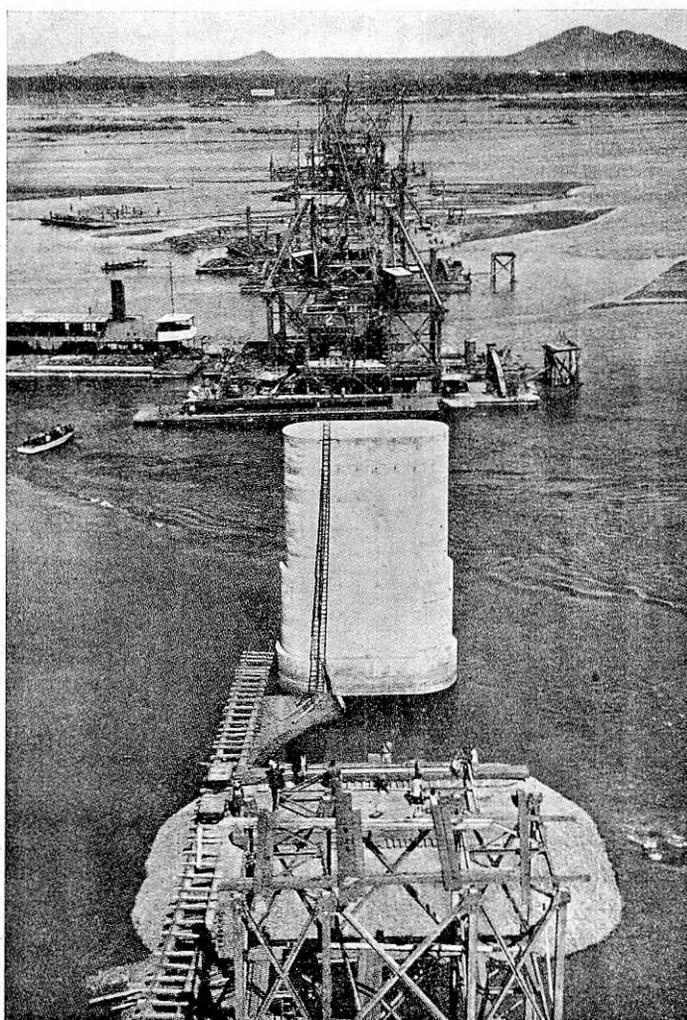


Abb. 10. Übersicht der Baustelle für die Zambesi-Brücke.

Um die Trockenlegung der Wohnhäuser für die Europäer zu erleichtern, wurden diese Bauten auf erhöhtem Gelände angelegt. Durch entsprechende Wahl des Baustoffes und durch dichte Bekleidung der Wände waren die Häuser moskitosicher. Elektrische Beleuchtung und gute Lüftung waren eingerichtet. Auch für die Hütten der Eingeborenen wurde eine gute Trockenlegung vorgesehen. Die Beschaffung der Lebensmittel, teils auf Nyassaland, teils aus der Nachbarschaft, verursachte keine Schwierigkeit.

Das Trinkwasser für die Europäer wurde dem Fluß entnommen, chemisch gereinigt und gefiltert und sodann in einen Hochbehälter gepumpt. Bei den Eingeborenen wurde es als ausreichend angesehen, das Flußwasser durch Sandfilter zu reinigen, da gesundheitschädliche Stoffe im Wasser des Zambesi nicht vorgefunden wurden.

Die Aborte für die Europäer wurden durch chemische Mittel keimfrei gehalten. An den in Gestalt abgedeckter

Gruben hergestellten Aborten für die Eingeborenen war an einem Ende der Grube ein Ofen, am andern Ende ein Schornstein angeordnet; durch den hierdurch bewirkten ständigen Durchzug von Rauch wurde die Ansammlung von Fliegen wirksam verhütet. Küchenabfälle u. dergl. wurden sofort verbrannt. Zur Vorbeugung gegen Malaria und Schwarzwasserfieber nahmen die Europäer außerdem Chinin. Die trotzdem aufgetretenen Fälle von Malaria sind auf Nichtbeachtung der vorgenannten Sicherheitsmaßnahmen, namentlich auf Übernachtungen im Freien bei Jagd- oder sonstigen

Ausflügen zurückzuführen. Die vorgekommenen Fälle von Schwarzwasserfieber wurden von außerhalb der Baustelle eingeschleppt.

Bei den Arbeiten unter Druckluft waren 55 Europäer und 862 Eingeborene nach vorausgegangener sorgfältiger ärztlicher Untersuchung beschäftigt. Nach Beendigung der Arbeiten war Gelegenheit zur Benutzung heißer Bäder vorgesehen. Druckluft wurde bei 13 Pfeilern angewendet. Todesfälle sind hierbei bei Europäern keine, bei den Eingeborenen fünf vorgekommen.

## Überhöhungen und Seitenkräfte im Gleisbogen.

Von Reichsbahnrat Leisner, Fürth i. B.

Die Schnellfahrten auf einigen Reichsbahnstrecken ließen vor einiger Zeit die Frage prüfen, ob die bekannte Häufung an sich zulässige Fehler in Gleisbogen für hohe Geschwindigkeiten tragbar ist.

Wie festgestellt wurde (siehe auch Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 5, S. 89), liegt zu irgendwelchen Befürchtungen kein Grund vor. Wo es angezeigt erscheint, lassen sich Fehler in der Bogenrichtung vor Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit durch Anwendung verfeinerter Absteckverfahren berichtigen und bei Neuanlagen von vornherein vermeiden; ebenso können die durch die höheren Geschwindigkeiten in einem noch unbestimmten Ausmaße geänderten Bedürfnisse der Gleisunterhaltung durch rechtzeitige Messungen mit dem Oberbaumeßwagen zuverlässig ermittelt werden.

Erfahrungen über die sich beim Schnellfahren im Gleisbogen entwickelnden Kräfte und über deren Ursache und Wirkung auf den fehlerhaften Gleisbogen liegen z. Z. nur in geringem Umfange vor. Weder über die dynamischen noch über die wirtschaftlichen Folgen des Schnellfahrens kann heute etwas Bestimmtes ausgesagt werden. Es scheint aber so, wie verschiedentlich beobachtet worden ist, daß die Bogenleiße den erhöhten Geschwindigkeiten nicht mehr jene ausreichenden Widerstandskräfte entgegenzusetzen vermögen, welche die gesteigerten Gesamtkräfte aus Anlaufdruck der Lokomotiven und aus nicht ausgeglichener Fliehkraft, besonders bei unzureichenden Überhöhungen, erfordern.

An sich bieten diese Beobachtungen nichts Überraschendes. Die wesentlich erhöhten lebendigen Kräfte in den Gleisbogen, die durch die Geschwindigkeitssteigerungen hervorgerufen werden, müssen ähnliche Wirkungen hervorbringen, wie vergrößerte Belastungen auf Tragbalken, mit höheren Spannungen als Folge. Die beobachteten Wirkungen werden außerdem als Massenerscheinung auftreten, da in den für Schnellfahrt hergerichteten und ausgenützten Strecken, in starker Abweichung von der bisherigen Übung, fast alle Bogen höchstbelastet werden. Die auf solche Art bewirkte, gleichmäßige Belastung ganzer Strecken wird die Wachsamkeit des Oberbaufachmannes unbedingt erfordern.

Die Folgen des Schnellfahrens werden mit Sicherheit als stärkere Beanspruchung des Oberbaues und — wegen der notwendigen gleichmäßigen Sorge für die Sicherheit des Fahrweges — auch als erhöhte Kostenaufwendungen in der Gleisunterhaltung in Erscheinung treten. Nur in welchem Umfang dies der Fall sein wird, steht noch nicht fest.

Allen Oberbaufachleuten muß deshalb daran gelegen sein zu erfahren, auf welche Ursachen die stärkere Beanspruchung der Gleisbogen zurückgeht und ob es nicht möglich oder zweckmäßig ist, durch vorbeugende Maßnahmen unerwünschte Auswirkungen des Schnellfahrens zu beseitigen oder abzuschwächen, mindestens aber einen befriedigenden Ausgleich zwischen erhöhten Unterhaltungskosten für die Gleise und dem aus dem Schnellfahren erzielten Nutzen herbeizuführen.

Wenn man von den bekannten Einflüssen absieht, die die Ausbildung der Schienenstöße und ihre Anzahl auf die

Unterhaltungskosten ausübt, wird in Ergänzung der Feststellung, daß in Gleisbogen auch höchste Geschwindigkeiten zulässig sind, zu prüfen sein, ob dieses Ziel nicht durch entsprechende Wahl der Bogenabmessungen, also des Bogenhalbmessers, des Übergangsbogens sowie der Überhöhung erreicht werden kann.

Insoweit als die nach den heute gültigen Vorschriften mögliche Bemessung der Überhöhungen die gesamten Seitenkräfte in einem Bogen beeinflusst, sollen die nachstehenden Entwicklungen und Berechnungen einen Beitrag zur Klärung des gesamten Fragenbereiches liefern.

Es sei vorweggenommen, daß die Untersuchungen auf die Belastung  $k$  eines Bogens, gemäß der Formel  $k = \frac{v}{\sqrt{r}}$ , aufgebaut werden sollen, da sich auf sie nicht allein der Führungsdruck von Lokomotiven und die bei mangelnder Überhöhung nicht ausgeglichene Fliehkraft, sondern auch die Seitenbeschleunigung  $p$  in einem Gleisbogen, die Standicherheit  $n$  einer Lokomotive sowie auch die Einflüsse der Abweichung eines Bogens von der Sollrichtung auf die Gesamtkräfte im Gleisbogen, anschaulich beziehen lassen.

### I. Der Gleisbogen ohne Richtungsfehler.

#### A. Die Seitenkräfte im Gleisbogen

(allgemeine Formeln).

##### a) Die Seitenkräfte $C$ aus nicht ausgeglichener Fliehkraft.

Diese Seitenkräfte sind proportional den Seitenbeschleunigungen

$$P = \frac{v^2}{12,96 r} - \frac{h}{153}.$$

Aus der bekannten Beziehung

$$\frac{G}{g} = \frac{C}{p},$$

worin  $G$  den Achsdruck und  $g$  die Erdbeschleunigung bedeutet, folgt die nicht ausgeglichene Fliehkraft zu

$$C = \frac{1}{9,81} G \frac{v^2}{r} \sim \frac{G}{10} \cdot p$$

oder mit  $G = 15000$  kg, als Wert, der den folgenden Berechnungen vergleichsweise zugrunde gelegt werden soll,

$$1) \dots \dots \dots C = 1500 \cdot p \text{ (kg)}$$

##### b) Die Seitenkräfte $S$ aus Anlaufdruck der Lokomotiven.

Der Anlaufdruck sei für eine Schnellzugslokomotive nach Angabe von anderer Seite mit einem Größenwert von

$$S \sim 0,5 G = 0,5 \cdot 15000 = 7500 \text{ kg}$$

bei den z. Z. höchstzulässigen Geschwindigkeiten angenommen. Die allgemeine Größe von  $S$  hängt sonst von der Gattung der Lokomotive, nicht aber vom Halbmesser des Bogens und von der Geschwindigkeit der Lokomotive ab. Ob indes diese z. Z. gültige Feststellung der Wissenschaft künftig haltbar sein wird, erscheint zweifelhaft.

Niemand wird bestreiten können, daß die Wirkungen des Anlaufdruckes von Lokomotiven in Geraden und flachen Bogen andere sind, als in Bogen mit scharfer Krümmung, daß also bei gleichbleibender Geschwindigkeit einer Lokomotive die Größe des Anlaufdruckes in irgendeiner Form durch den Halbmesser eines Bogens mitbestimmt wird.

Um dieser Tatsache, die durch die Erfahrung hundertfältig bestätigt wird, nahe zu kommen sei für die Abhängigkeit des Führungsdruckes vom Halbmesser eines Bogens die Beziehung

$$2) \dots \dots \dots S \sim \frac{1}{r} A v^2$$

gewählt, worin A einen der Gattung der Lokomotive zukommenden Festwert darstellt.

Damit sei in keiner Weise zu der Frage der Berechnung des Führungsdruckes selbst Stellung genommen, sondern nur mit Vorbedacht von dem Vorteil Gebrauch gemacht, den die Formel dadurch bietet, daß sich die wirklich bestehenden ungünstigen Einflüsse von Bogenrichtungsfehlern und Geschwindigkeitsüberschreitungen auf die Seitenkräfte im Gleisbogen, wenn auch nicht zutreffend, so doch vergleichsweise zahlenmäßig erfassen lassen. Der Vergleich der Seitenkräfte aus Führungsdrücken mit jenen aus nicht ausgeglichenen Fliehkräften führt übrigens sowohl bei Anwendung von Festweiten für Führungsdrücke als auch bei veränderlichen Führungsdrücken zu Ergebnissen, die nicht grundsätzlich verschieden sind.

Bei dem heutigen Stand der Meßtechnik bieten außerdem Untersuchungen über das tatsächliche Verhalten von Lokomotiven in Gleisbogen keine besonderen Schwierigkeiten.

Mit  $k = \frac{v}{\sqrt{r}}$  erhält man in den Formeln 1) und 2) die Kräfte C und S als Bezug auf die Belastung k eines Bogens

$$3) \dots \dots \dots C = 1500 \left( \frac{k^2}{12,96} - B \right)$$

(worin B ein der gewählten Überhöhung zukommender Festwert ist)

$$4) \dots \dots \dots S \sim A k^2.$$

Da sich in der Formel 3) auch der Wert B durch die Belastung k ausdrücken läßt, so können auch die Gesamtkräfte C + S durch die Größe k beschrieben werden. Dabei ergibt sich von selbst eine einfache Abhängigkeit der Seitenbeschleunigung p und der Standsicherheit n einer Lokomotive von dieser Belastung k.

Die nachstehenden Untersuchungen sollen unter Verwendung zweier Schautafeln (Abb. 1 und 2) hierüber Aufschluß geben. Zunächst seien die Seitenkräfte C und S je für sich betrachtet.

**B. Abhängigkeit der Seitenkräfte C von der Überhöhung sowie von der Belastung k.**

Die Seitenkräfte C bemessen sich aus der Seitenbeschleunigung p nach Formel 1) oder 3), je nach Wahl der Überhöhungen im Rahmen der gültigen Vorschriften.

Es kommen die Regel- und Minimalüberhöhungen mit ihren Grenzwerten  $h = 150$  mm und  $h = 0$  in Frage, d. h. mit  $k^2 = \frac{v^2}{r}$  die Überhöhungen:

$$h_I = \frac{8 v^2}{r} = 8 k^2$$

$$h_{II} = h_{max} = 150 \text{ mm}$$

$$h_{III} = \frac{11,8 v^2}{r} - 90 = 11,8 k^2 - 90$$

$$h_{IV} = h_{min} = 0 \text{ mm.}$$

In Abb. 1 sind in vier Schaulinien I bis IV die zu diesen vier Überhöhungsformeln gehörigen Seitenkräfte C als Ordinaten für Abszissen  $k = \frac{v}{\sqrt{r}}$  aufgetragen. Der Verlauf der Schaulinien stützt sich mit

$$C = \frac{G}{10} p = 1500 \cdot p$$

auf folgende Beziehungen:

*1. Schaulinie I (für Regelüberhöhungen).*

Es ist

$$p_I = \frac{v^2}{12,96 r} - \frac{h}{153} = \frac{k^2}{12,96} - \frac{8 k^2}{153}$$

oder

$$5) \dots \dots \dots p_I = 0,0249 k^2$$

für

$$h_I = 8 k^2.$$

Schaulinie I hat an der Stelle k ihr Ende, für die  $h_I = 8 k^2 = 150$  mm ist, das ist für  $k = 4,33$ .

Wird die Belastung k in einem Bogen über dieses Maß hinaus gesteigert, ohne daß die Überhöhung vergrößert wird, so wachsen die nicht ausgeglichenen Fliehkräfte bei der gleichbleibenden Überhöhung von  $h_I = h_{max} = 150$  mm nach

*2. Schaulinie II (für die Maximalüberhöhung  $h = 150$  mm) an.*

Die Schaulinie II beginnt bei  $k = 4,33$ . Die Kräfte leiten sich ab aus

$$p_{II} = \frac{k^2}{12,96} - \frac{150}{153}$$

oder

$$6) \dots \dots \dots p_{II} = 0,0772 k^2 - 0,981$$

für

$$h_{II} = h_{max} = 150 \text{ mm.}$$

Für den Höchstwert  $k_{max} = 4,5$  wird die Kraft C im fehlerfreien Bogen höchstens  $C_{max} = 882$  kg (vergl. Punkt c, Abb. 1).

Bei der Deutschen Reichsbahn können statt der Regelüberhöhungen auch Minimalüberhöhungen angewandt werden. Von der Überhöhung

$$H = 11,8 k^2,$$

die die Fliehkraft in einem Bogen vollkommen ausgleicht, dürfen bis zu 90 mm abgezogen werden. Hieraus ergeben sich Seitenkräfte  $C_{III}$ , die durch eine waagrecht verlaufende

*3. Schaulinie III (für Minimalüberhöhungen)*

dargestellt werden können.

Die Kräfte selbst bestimmen sich aus

$$p_{III} = \frac{k^2}{12,96 r} - \frac{11,8 k^2 - 90}{153}$$

oder

$$7) \dots \dots \dots p_{III} = 0,588 = \text{konstant}$$

für

$$h_{III} = 11,8 k^2 - 90.$$

Sie erreichen, solange  $h_{III}$  nicht unter Null sinkt, den auch bei Schaulinie II für  $k = 4,5$  als Höchstwert vorkommenden, gleichbleibenden Betrag  $C_{III} = 882$  kg.

Der Bereich der Schaulinie III ergibt sich aus dem Umstand, daß die Überhöhung  $h_{III}$  sowohl den Höchstwert 150 mm, wie den Kleinstwert 0 mm annehmen kann, aus

$$h_{III} = 11,8 k^2 - 90 = 150 \text{ für } k = \sqrt{\frac{240}{11,8}} = 4,5$$

und

$$h_{III} = 11,8 k^2 - 90 = 0 \text{ für } k = \sqrt{\frac{90}{11,8}} = 2,76.$$

Bei Belastungen  $k < 2,76$  besteht nämlich nicht mehr die

Möglichkeit 90 mm von der Überhöhung  $H = 11,8 \text{ k}^2$  abziehen, ohne daß Untertiefungen entstehen. Die Kräfte  $C$  werden daher für  $k < 2,76$  und bei der Überhöhung Null wieder kleiner als  $C_{III} = 882 \text{ kg}$ .

Diese Beziehung ist in Abb. 1 durch

4. Schaulinie IV (für die Minimalüberhöhungen Null)

ersichtlich gemacht.

Setzt man  $H - W = 11,8 \text{ k}^2 - W = 0$ , so gilt

$$P_{IV} = \frac{k^2}{12,96} - \frac{11,8 \text{ k}^2 - W}{153}$$

Die Fliehkraft kann abgemindert werden (durch Anwendung von  $h_{reg}$ , statt  $h_{min}$ ):

von $k = 0$	bis 2,76	um	0	bis 598 kg
„ $k = 2,76$	„ 4,33	„	598	„ 182 kg
„ $k = 4,33$	„ 4,5	„	182	„ 0 kg.

Um mehr als rund 600 kg kann also eine Seitenkraft aus nicht ausgeglichener Fliehkraft überhaupt nicht verringert werden.

Die Unterschiede von  $C_{III}$  und  $C_I$  ergeben sich für einige bemerkenswerte Zahlen von  $k$  aus nachstehender Zahlentafel I.

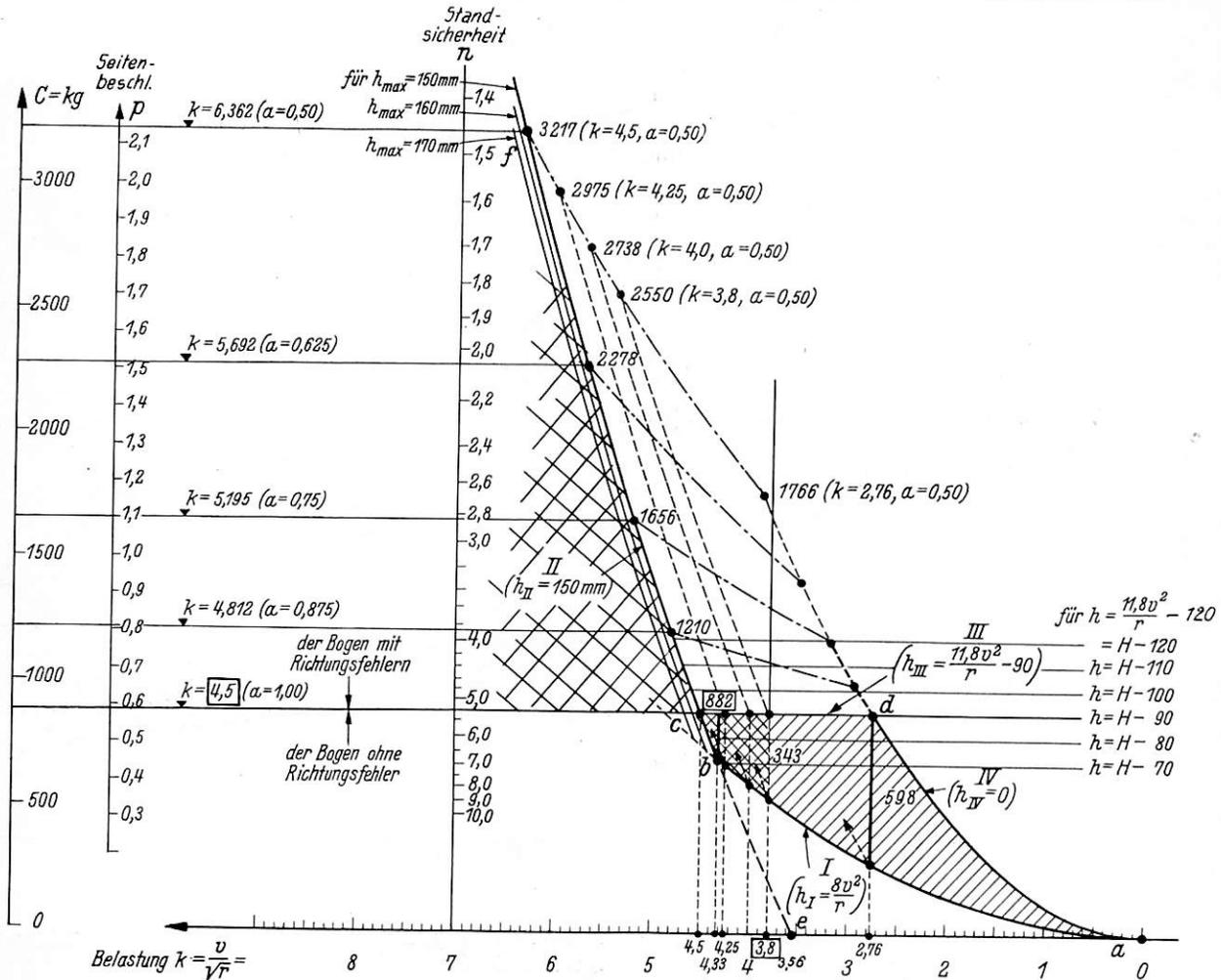


Abb. 1.

oder

8)  $P_{IV} = \frac{W}{153}$

(worin in jedem einzelnen Fall  $W = 11,8 \text{ k}^2$  ist) für

$$h_{IV} = h_{min} = 0 = 11,8 \text{ k}^2 - W$$

5. Unterschied der Seitenkräfte  $C$  bei Minimal- und Regelüberhöhungen für beliebige Belastungen  $k$ .

Die Schaulinien I bis IV ergeben eine, in Abb. 1 durch Schraffur hervorgehobene Fläche  $abcd$ , deren obere und untere Begrenzungslinien den Unterschied der Seitenkräfte bei Anwendung der Kleinst- und Größtüberhöhungen aufzeigen.

Wie die Figur erkennen läßt, wechseln die Unterschiede stark mit der Belastung  $k$  (Abszissen).

Für drei auffällige Bereiche von  $k$  besteht die Möglichkeit der Abminderung der Seitenkräfte innerhalb folgender Grenzen:

Zahlentafel I.

1	2	3	4
$k$	$C_{III}$ für $h_{III} = h_{min}$	$C_I$ für $h_I = h_{reg}$	$C_{III} = \frac{b}{100} \cdot C_I$
			$b$
2,76	882	284	311
3,80	882	539	164
4,00	882	598	148
4,25	882	674	131
4,33	882	700	126
4,50	882	882	100

Hieraus folgt, daß ein Bogen, der höchstbelastet ist, oder die Minimalüberhöhung hat, immer die Kraft  $C_{III} = 882 \text{ kg}$  aufnehmen muß, und daß sich z. B. bei der Belastung  $k = 3,8$  noch die Möglichkeit ergibt, diese größte Seitenkraft von 882 kg um  $882 - 539 = 343 \text{ kg}$  zu verringern.

Wie aus Spalte 4 der Zahlentafel I hervorgeht, kann die Steigerung der Kräfte aus nicht ausgeglichener Fliehkraft bei Anwendung der Minimalüberhöhungen sehr beträchtlich werden. Sie beträgt selbst für  $k = 4,25$  noch 131%. Verglichen mit den in einem Bogen vorkommenden Gesamtseitenkräften sind jedoch die Steigerungen der Kräfte bei mangelnder Überhöhung sehr gering. Hierauf wird weiter unten näher eingegangen.

Abb. 2 mit Geschwindigkeitszahlen beschriebenen Hyperbeln (für die Abhängigkeit der Seitenkräfte von  $v$  und  $r$  [Formel 9]) und die Zahlenreihen der zugehörigen Werte von  $C + S$  und  $k$  auf dem linken Rand der Abb. 2 [Formel 10]).

Für einen beliebigen Wert von  $r$  erhält man für  $k = 4,5$ , wie angenommen,  $S_{\max} \sim 4,5^2 \cdot 370 = 7500$  kg.

Die Vergleichswerte für Triebwagen haben nur die halbe Größe von  $S$ , da der Anlaufdruck von Triebwagen allgemein

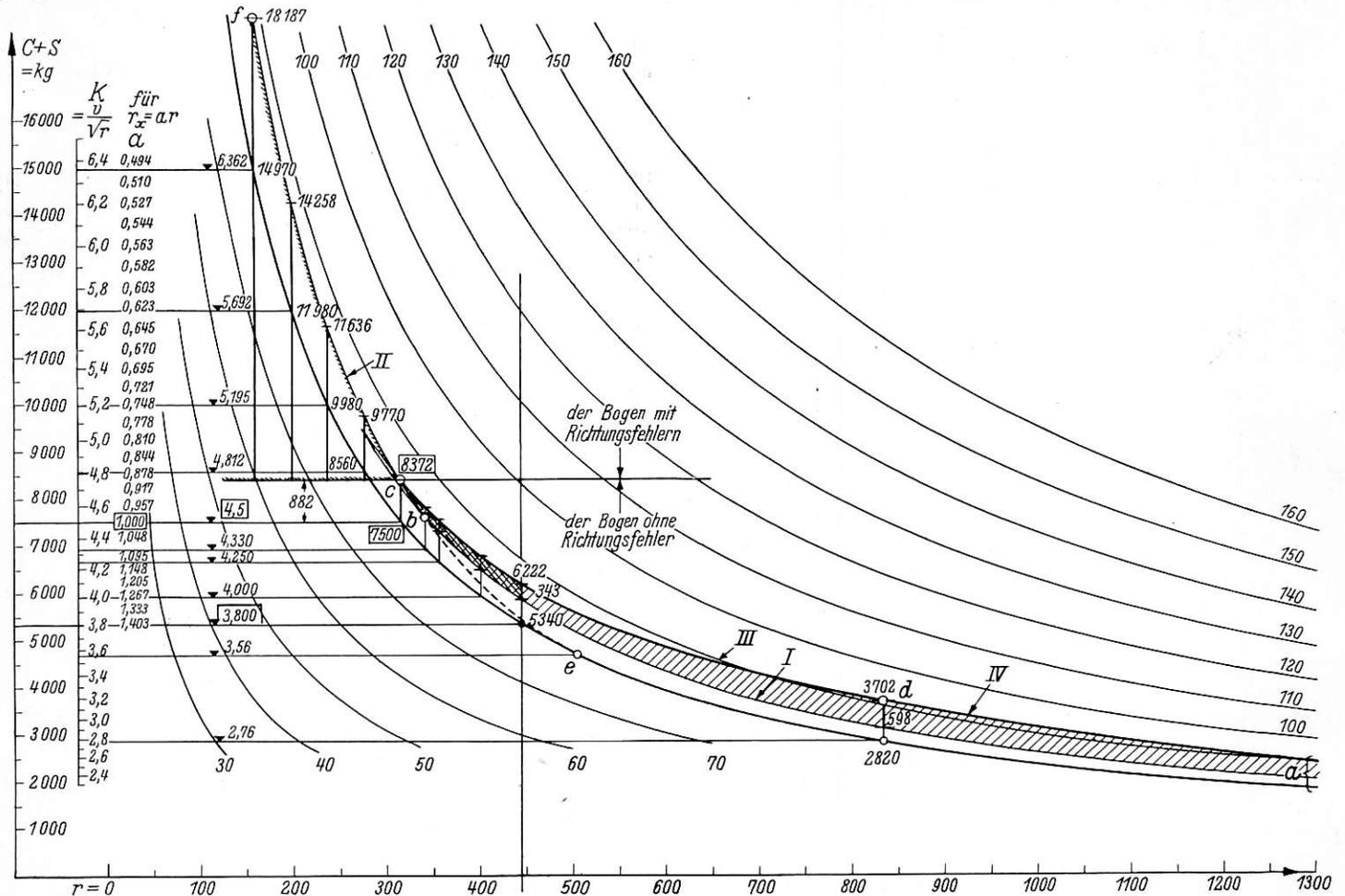


Abb. 2.

C. Abhängigkeit der Seitenkräfte  $S$  von der Belastung  $k$ .

In Abb. 2 ist die Abhängigkeit des Führungsdruckes einer Schnellzugslokomotive von der Belastung  $k$  sowohl für

$$S \sim \frac{1}{r} A v^2$$

wie für dargestellt.

$$S \sim A k^2$$

Wenn, wie schon vermerkt, dieser Anlaufdruck für die Höchstgeschwindigkeit  $v = 4,5 \sqrt{r}$  mit  $0,5 G = 7500$  kg angenommen wird und bei den anzustellenden Vergleichen vom Halbmesser abhängig sein soll, so berechnet er sich für  $A = 370$  aus

$$9) \dots \dots \dots S \sim \frac{1}{r} 370 v^2 = 7500 \text{ kg}$$

oder

$$10) \dots \dots \dots S \sim 370 k^2 = 7500 \text{ kg.}$$

Die Seitenkräfte  $S$  folgen daher bei gleichbleibender Geschwindigkeit im Bogen dem hyperbolischen, bei veränderlicher Belastung  $k$  dagegen, ohne Rücksicht auf den Halbmesser, dem quadratischen Gesetz. Vergleiche hierzu die in

mit  $0,25 G$  angenommen wird (vergl. die Gesamtergebnisse in Zahlentafel III, Seite 78/79).

D. Die Summe der Kräfte  $C + S$ .

Die Kräfte  $S$  aus Anlaufdruck von Lokomotiven sind wesentlich größer als die Kräfte  $C$  aus nicht ausgeglichener Fliehkraft. Das allgemeine Verhältnis der beiden Kräfte zeigen die Summenformeln

$$11) \dots \dots \dots C_{III} + S = 882 + 370 k^2$$

für Minimalüberhöhungen und

$$C_I + S = 0,0249 \cdot 1500 k^2 + 370 k^2$$

oder

$$12) \dots \dots C_I + S = 37,35 k^2 + 370 k^2$$

für die Regelüberhöhungen.

Für Schnellzugslokomotiven mit  $S_{\max} \sim 7500$  kg gilt daher allgemein für beliebige Werte von  $k$

$$S \sim 10 C$$

und

für Triebwagen mit  $S = \frac{1}{2} \cdot 7500$  kg

$$S \sim 5 C,$$

wenn man von den geringen Unterschieden der Kräfte  $C_{III} - C_I$  (z. B. für  $k = 3,8$  nur 343 kg) absieht.

In Abb. 2 erscheinen alle Werte C + S in der Summenform, gemäß den Formeln 11) und 12) (Trennungslinie ist die Hyperbel für V = 80 km/h).

Die anschauliche Darstellung ist erzielt durch den Bezug beider Seitenkräfte auf die Belastung k:

Da für jeden beliebigen Wert von k die Seitenkraft  $S \sim A k^2$  bei allen Bogenhalbmesser gleich bleibt, können die entsprechenden Kräfte C für Minimal- und für Regelüberhöhungen auf eine beliebige Schaulinie für  $S \sim \frac{1}{r} A v^2$  aufgetragen werden. In Abb. 2 ist unter Benutzung der Zahlentafel I wie folgt verfahren: an der Stelle k = 4,5 ist der Kraft S ~ 7500 kg die maximale Kraft C<sub>III</sub> = 882 kg zugesetzt (Punkt c), an der Stelle k = 4,33 der Kraft S die Kraft C<sub>I</sub> = 700 kg und die Kraft C<sub>III</sub> = 882 kg (Punkt b), an der Stelle k = 2,76 der Kraft S die Kraft C<sub>I</sub> = 284 kg und die Kraft C<sub>III</sub> = 882 kg (Punkt d) usw.

Es sind somit die genauen Werte der Abb. 1 in Abb. 2 übertragen. Die schraffierten Figuren a b c d in beiden Abbildungen veranschaulichen das.

Aus Abb. 2 kann entnommen werden, daß die größte Seitenkraft C + S für eine Schnellzugslokomotive im fehlerfreien Bogen höchstens C<sub>max</sub> + S = 882 + 7500 = 8382 kg betragen kann.

E. Die Möglichkeit der Abminderung der Seitenkräfte C + S durch „richtige Bemessung“ der Überhöhung.

Der Umfang der Möglichkeit ist für die verschiedenen Belastungsfälle k in Abb. 2 durch die schraffierte Fläche a b c d dargestellt. Die Fläche hat an der Stelle k = 4,5, in Punkt c, eine Spitze, die Einflußmöglichkeit ist daher gleich Null. Bei k = 2,76, also bei der nur selten vorkommenden, sehr geringen Belastung besteht dagegen die Möglichkeit, die auftretende, größte Gesamtseitenkraft durch Anwendung der Regelüberhöhung um den größten möglichen Betrag C<sub>max</sub> - C<sub>I</sub> = 598 kg zu vermindern. Der Betrag mit etwa 1/6 der Gesamtkraft entspricht der größten Höhe der schraffierten Fläche bei Punkt d (s. auch Abb. 1).

Zwischen den Werten k = 2,76 und k = 4,5 können die Gesamtkräfte C + S um Null bis etwa 1/6 der Gesamtkraft abgemindert werden.

Die folgende Zahlentafel II gibt für die gleichen Zahlen von k, wie in Zahlentafel I, eine Übersicht über das Verhältnis der erreichbaren Kräfteminderungen zu den Gesamtkräften, je nach Anwendung der Regel- oder der Minimalüberhöhungen.

Zahlentafel II (Abb. 2).

1	2		3		4	5	6	7		8
	S		S + C <sub>III</sub>					Δ(S + C) in %		
k	~370 k <sup>2</sup>	~185 k <sup>2</sup>	für Lok.	für Triebw.	für Lok.	für Triebw.	Δ(S + C) = C <sub>III</sub> - C <sub>I</sub>	für Lok.	für Triebw.	
	für Lok.	für Triebw.								
2,76	2820	1410	3702	2292	598	16,16	26,10			
3,80	5340	2670	6222	3552	343	5,51	9,66			
4,00	5920	2960	6802	3842	284	4,18	7,39			
4,25	6680	3340	7562	4222	208	2,75	4,93			
4,33	6930	3465	7812	4347	182	2,33	4,19			
4,50	7490	3745	8372	4627	000	—	—			

Die Zahlen der Spalte 6 fallen im Vergleich mit den Zuwächsen der Kräfte in Spalte 4 bei wachsendem k nicht ins Gewicht.

Die Frage, ob beim Verzicht auf die Minimalüberhöhungen in Bezug auf die Abminderung der

Seitenkräfte im Gleisbogen Wesentliches erreicht werden kann, ist daher mit „nein“ zu beantworten, dagegen die Frage, ob dieser Zweck durch Verringerung der Belastung k zu erzielen ist, mit „ja“.

Würde man etwa die zur Zeit zulässige Belastung k = 4,5 auf 4,25 herabsetzen, so bestünde zwar die Möglichkeit, die für die Minimalüberhöhungen sich ergebende, konstante, größte Gesamtkraft von 7562 kg um 208 kg, d. h. um 2,75% zu verringern (Spalte 6 und 7), diese Gesamtkraft selbst wäre jedoch, gegenüber der Gesamtkraft von 8372 kg für k = 4,5, um 810 kg, d. h. um 9,67%, kleiner. Die entsprechenden Zahlen betragen, für die Belastung k = 3,8, 5,51% und 25,7%.

Die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten ist daher mit überwiegendem Gewicht als die Ursache für die stärkere Beanspruchung des Oberbaues anzusehen, und der beliebigen Bemessung der Überhöhungen im Rahmen der Vorschriften kann nur ein ganz geringer Einfluß hierauf zugeschrieben werden.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang ganze Streckenabschnitte, so ergibt sich, daß gerade bei Schnellfahrstrecken die Aussichten, die Gesamtverhältnisse durch Anwendung der Regelüberhöhungen zu bessern am geringsten sind, da fast alle Bogen in solchen Abschnitten höchst- oder nahezu höchstbelastet sind (vergl. die Werte der Spalte 7 in Zahlentafel II für k = 2,76 bis k = 4,5).

Für die Gesamtbeanspruchung einer Strecke sind selbstverständlich die eben gemachten Feststellungen nicht allein maßgebend. Die Gesamtbeanspruchung wird sich stets aus der Zugzahl und aus der Art der verwendeten Zugkräfte bemessen.

## II. Der Gleisbogen mit Richtungsfehlern.

A. Steigerung der Belastung k bei Abweichungen der Bogenrichtung vom Sollhalbmesser bei gleichbleibender Sollüberhöhung.

a) Der Bogen mit der Höchstbelastung k = 4,5.

Bekanntlich haben Bogen schon von Anfang an Fehler in der Bogenrichtung. Sie sind begründet in Mängeln der Absteckverfahren sowie in Verlegefehlern. Die Abweichungen betragen selbst bei Bogen, die bisher als einwandfrei angesehen wurden, erfahrungsgemäß noch rund 12 1/2%, falls sie auf Grund von Schnurmessungen entworfen wurden.

Wird bei Herstellung der Entwürfe, der Vermarkung und bei der Verlegung der Gleise nur wenig von der üblichen Sorgfalt abgewichen, so werden die Fehler leicht größer und damit die ungünstige Beanspruchung der Gleise durch die Fahrzeuge.

Nicht selten finden sich in Gleisbogen Abweichungen von der Bogenrichtung von 30%, in Einzelfällen noch größere. Richtungsfehler steigern aber, wie die nachstehenden Entwicklungen zeigen, außerordentlich die Belastung k der Bogen und damit die Seitenkräfte.

Setzt man die verkleinerten Halbmesser mit r<sub>x</sub> = a · r an, so gilt bei einer zulässigen Geschwindigkeit v<sub>max</sub>, für die den Halbmessern r<sub>x</sub> entsprechenden Belastungen k<sub>x</sub>, gemäß der allgemeinen Formel

$$v_{\max} = k_{\max} \sqrt{r}$$

$$v_{\max} = k_x \sqrt{a r} = k_x \sqrt{r_x}$$

oder

$$k_x^2 = \frac{v_{\max}^2}{a r} = \frac{k_{\max}^2}{a}$$

daher

$$13) \dots \dots \dots k_x = \frac{k_{\max}}{\sqrt{a}}$$

Mit fallendem Wert a wächst also die Belastung k<sub>x</sub> bei gleichbleibender, zulässiger Höchstgeschwindigkeit sehr stark an.

## Zahlen-

1	2	3	4	5		6	7	8
Zu- lässige Be- lastung  k	$h_I$ = $h_{regel}$  = $8 k^2$	$h_{III}$ = $h_{min}$  = $11,8 k^2$ - 90	$\Delta h$  = $h_I - h_{III}$	Steigerung von $k_{max}$		$P_{III}$  = $0,0772 k^2 - \frac{h_{III}}{153}$  für $h_{min}$	$C_{III}$  = $P_{III} \cdot 1500$  für $h_{min}$	$C_I$  = $C_{III} - \frac{\Delta h}{153} \cdot 1500$  für $h_{regel}$
				auf $k_x = \frac{k_{max}}{\sqrt{a}}$	für $r_x = a \cdot r$  a			
2,76	61	0	61	2,760	1,000	0,588	882	284
				2,950	0,875	0,672	1008	410
				3,188	0,750	0,784	1176	578
				3,492	0,625	0,942	1413	815
				3,905	0,500	1,177	1766	1168
3,8	116	81	35	3,800	1,000	0,588	882	539
				4,063	0,875	0,753	1129	786
				4,387	0,750	0,956	1434	1091
				4,806	0,625	1,254	1880	1537
				5,374	0,500	1,701	2550	2207
4,0	128	99	29	4,000	1,000	0,588	882	598
				4,277	0,875	0,765	1147	1147
				4,620	0,750	1,000	1500	1216
				5,060	0,625	1,330	1995	1711
				5,658	0,500	1,825	2738	2454
4,25	144,4	123	21,4	4,250	1,000	0,588	882	674
				4,543	0,875	0,790	1185	977
				4,907	0,750	1,054	1581	1373
				5,375	0,625	1,426	2139	1931
				6,01	0,500	1,983	2975	2767
4,5	(162) 150	150	(12) 0	4,500	1,000	0,588	882	882
			4,812	0,875	0,807	1210	1210	
			5,195	0,750	1,104	1656	1656	
			5,692	0,625	1,518	2278	2278	
			6,362	0,500	2,144	3217	3217	

Gleichen Schritt mit dem Anwachsen von  $k_{max}$  auf  $k_x$  hält die Steigerung der Seitenkräfte  $C_x$  aus nicht ausgeglichener Fliehkraft, da die Beibehaltung der Mindestüberhöhung von 150 mm für  $v_{max}$  einer Verminderung der Überhöhung gleichkommt.

In Abb. 1 zeigt die über Punkt c hinaus bis Punkt f fortgesetzte Schaulinie II den Zusammenhang von  $k_x$  und  $C_x$  bei Abweichungen von der Bogenrichtung [Berechnung der Werte nach Formel 6)].

Für einige Werte von a, nämlich für  $a = 0,875, 0,75, 0,625$  und  $0,500$ , sind die zusammengehörigen Werte von k und C, für  $k = 4,5$ , in die Abbildung eingeschrieben.

Die Zahlenbeispiele weisen die bedenkliche Steigerung der Kräfte  $C_x$  bei Abweichungen vom Bogensoll aus. Die durch Punkt c in Abb. 1 gezogene waagerechte Linie läßt erkennen, daß die Kräfte  $C_x$ , die im fehlerfreien Bogen auftretende maximale Kraft  $C_{III} = 882$  kg sehr leicht um 100 und mehr Prozent übersteigen können.

Während aber beim fehlerfreien Bogen der Kräfteunterschied  $C_{III} - C_I$ , im Vergleich zu den Gesamtkräften  $C + S$ , nicht ins Gewicht fiel, bleibt der Kräftezuwachs aus gesteigerter Belastung  $k_x$  auch beim Zusammenhalt mit den Gesamtkräften sehr beträchtlich.

Überträgt man die Zahlenwerte für die gewählten Abweichungen vom Bogenhalbmesser ( $a = 0,875, 0,75, 0,625$  und

0,50) aus Abb. 1 in Abb. 2, so veranschaulicht auch hier die durch Punkt c gezogene Waagerechte das starke Anwachsen der Kräfte, allerdings nicht gegenüber der Kraft  $C_{III} = C_{max} = 882$  kg, sondern gegenüber der, im fehlerfreien Bogen bei  $k = 4,5$  auftretenden, größten Seitenkraft  $C_{max} + S = 8372$  kg (siehe die auf der Waagerechten durch Punkt c senkrecht stehenden, stark hervorgehobenen Ordinatenabschnitte mit den Ordinaten für die Gesamtkräfte in Abb. 2).

Man erkennt, daß die Zuwüchse an Kraft gegenüber den Gesamtkräften mit wachsendem k in höherem Grade steigen, als die Kräfte C gegenüber der Kraft  $C_{max}$ . Sie können die im fehlerfreien und höchstbelasteten Bogen auftretende, höchste Kraft  $C_{max} + S = 8372$  kg, in wirklich vorkommenden Fällen, erreichen und übersteigen. Bei einer Abweichung von 50% vom Bogensoll beträgt die Steigerung für  $k = 6,362$ , bei der erreichten Gesamtkraft von  $C + S = 18187$  kg 117%!

Wegen der außerordentlichen Bedeutung der Richtungsfehler als Ursache für die Vergrößerung der Seitenkräfte im Gleisbogen ist das wirkliche, zahlenmäßige Verhältnis von k und a (für den Fall  $k = 4,5 = 100\%$ ) gemäß Formel 13), durch Hinzufügung einer Zahlenreihe für a in Abb. 2, veranschaulicht.

In diesem Zusammenhang sei, obwohl nicht wichtig, noch darauf hingewiesen, daß die Verringerung eines Bogenhalbmessers nur unter Vergrößerung des Bogenhalbmessers in Nachbarteilen des Gesamtbogens erfolgen kann, daß sich aber

tafel III.

9	10		11		12	13	14		15		16		17	
$\frac{\Delta h}{153} \cdot 1500$  = $\Delta(C+S)$	S				$C_{III} + S$		Kräfteminderung $\Delta(C+S)$ in % der Spalten 12 und 13  für $h_{regl}$				Kräftesteigerung bei Ab- weichung der Bogenrichtung vom Soll; Vergleich der Kräfte $C_{III} + S$ für $a=1$ mit den Kräften für $a=0,875$ usw. in %			
	~ 370 k <sup>2</sup>		~ 185 k <sup>2</sup>		für $h_{min}$									
	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen	Lokomotive	Triebwagen
598	2820	1410	3702	2292	16,16	26,10	0,000	0,000						
	3220	1610	4228	2618	14,14	22,83	14,21	14,22						
	3760	1880	4936	3056	12,12	19,57	33,30	33,40						
	4510	2255	5923	3668	10,90	16,31	60,00	60,10						
	5640	2820	7406	4586	8,08	13,04	100,00	102,00						
343	5340	2670	6222	3552	5,51	9,66	0,000	0,000						
	6100	3050	7229	4179	4,74	8,21	16,18	17,65						
	7120	3560	8554	4994	4,01	6,86	37,50	40,60						
	8530	4265	10410	6145	3,28	5,58	67,30	73,00						
	10680	5340	13230	7890	2,59	4,35	112,70	122,20						
284	5920	2960	6802	3842	4,18	7,39	0,000	0,000						
	6760	3380	7907	4527	3,59	6,28	16,25	17,83						
	7900	3950	9400	5450	3,02	5,21	38,20	41,90						
	9470	4735	11465	6730	2,48	4,22	68,60	75,20						
	11840	5920	14578	8658	1,95	3,71	114,30	125,30						
208	6680	3340	7562	4222	2,75	4,93	0,000	0,000						
	7640	3820	8825	5005	2,36	4,16	16,70	18,55						
	8910	4455	10491	6036	1,98	3,45	38,70	42,95						
	10680	5340	12819	7479	1,62	2,78	69,50	77,10						
	13350	6675	16325	9650	1,27	2,16	115,80	128,60						
000	7490	3745	8372	4627	0,000	0,000	0,000	0,000						
	8560	4280	9770	5490	—	—	16,72	18,65						
	9980	4990	11636	6646	—	—	39,00	43,60						
	11980	5990	14258	8268	—	—	70,30	78,70						
	14970	7485	18187	10702	—	—	117,20	131,30						

die Kräfteverhältnisse in den verflachten Bogen günstiger gestalten. Die Gesamtkräfte für diese Bogenteile können an der in Abb. 2 über Punkt c nach unten bis Punkt e, für  $k = 3,56$ , fortgesetzten Schaulinie II abgelesen werden. Der Wert  $k = 3,56$  ist gewählt, weil sich für ihn die Merkwürdigkeit ergibt, daß die Fliehkraft in dem gleichmäßig mit 150 mm überhöhten Bogen [gemäß Formel 6)] an dieser Stelle vollkommen aufgehoben ist. Die Halbmesser von verflachten Bogen betragen für diese Fälle  $r_x = 1,59 r$ .

b) Der Bogen mit beliebiger Belastung k.

Ändert sich in einem Streckenabschnitt die Höchstbelastung k, weil die Bogenhalbmesser größer sind als die Minimalhalbmesser, so werden sich Richtungsfehler nicht mehr so ungünstig auswirken, da die in dem Bogen gleichmäßig durchgeführte Sollüberhöhung gewöhnlich kleiner als 150 mm ist. Mit der zulässigen Streckengeschwindigkeit  $V_{zul}$  wird die zulässige Belastung jeweils betragen

$$k_{zul} = \frac{V_{zul}}{\sqrt{r}}$$

und die den Richtungsfehlern entsprechenden Belastungen  $k_x$  nach Formel 13)

$$k_x = \frac{V_{zul}}{\sqrt{r}} = \frac{V_{zul}}{\sqrt{a r}}$$

$$14) \dots \dots \dots k_x = \frac{k_{zul}}{\sqrt{a}}$$

Die Seitenkräfte C bemessen sich ähnlich wie bei Formel 6) (für  $h_{max} = 150$  mm) aus

$$15) \dots \dots \dots p = 0,0772 k^2 \frac{h_{zul}}{153}$$

Betrachtet man  $h_{zul}$  als gleichmäßig durchgeführte Überhöhung, so ergibt sich nach den obigen Ableitungen, daß die Kräfteänderungen bei Abweichungen von der Bogenrichtung durch Schaulinien dargestellt werden könnten, die den Schaulinien II in Abb. 1 ungefähr parallel laufen. Sie würden sich von der Schaulinie II nur dadurch unterscheiden, daß ihre Ordinaten an jeder beliebigen Stelle von k um

$$\Delta C = \Delta p \cdot 1500 = \frac{\Delta h}{153} \cdot 1500 = \frac{150 - h_{zul}}{153} 1500 \text{ kg}$$

größer wären.

Da es aber für  $h_{zul}$  sowohl einen Minimal-, wie einen Maximalwert gibt, wären für jede Belastung  $k < 4,5$  je zwei derartige Schaulinien II zu betrachten, innerhalb deren sich die Kräfte C und damit die Gesamtkräfte C + S noch beliebig gestalten können.

Die mit der Schaulinie II in Abb. 1 gleichlaufenden, gestrichelten Schaulinien stellen die, bei Anwendung der Minimal-

überhöhungen auftretende Kräfte, für die in Zahlentafel I und II verwendeten Werte von k, dar. Die Kräfte für die Regelüberhöhungen sind jeweils um

$$\Delta C = \frac{C_{III} - C_I}{153} \cdot 1500 \text{ kg}$$

kleiner. Die Schaulinien hierfür sind in Abb. 1, an Schaulinie I beginnend, angedeutet.

Die gesamten Untersuchungsergebnisse sind in Zahlentafel III zusammengetragen. Der Zusammenhang der Einzelwerte für die gewählten Bogenabweichungen a ist in Abb. 1 durch die strichpunktierten Linien hervorgehoben.

Aus Abb. 1 und Zahlentafel III folgt:

1. Daß beim fehlerfreien Bogen (d. h. für alle Zahlen a = 1,00 [Spalte 5]) die Anwendung der Minimalüberhöhungen eine um so geringere Steigerung der Gesamtkräfte C + S, gegenüber den Kräften aus den Regelüberhöhungen, ergibt, je größer k wird (Spalte 9),

2. daß die Möglichkeit der Abminderung der Gesamtkräfte nach Ziffer 1 gegenüber den mit fallendem k gleichzeitig eintretenden, beträchtlichen Abminderungen der Gesamtkräfte, stark an Bedeutung verliert (vergleiche die Zahlen in Spalte 9 mit den unterstrichenen der Spalten 12 und 13) und

3. daß die Aussichten, die Seitenkräfte im Bogen durch Anwendung der Regelüberhöhungen wirksam abmindern zu können, um so geringer werden, je stärker die Richtungsfehler in einem Bogen sind (vergleiche die Zahlen a in Spalte 5 mit den nicht unterstrichenen Zahlen der Spalten 12 und 13). Die Spalten 14 mit 17 ergeben diese Zusammenhänge in Prozentzahlen.

Auf den Übertrag der Darstellung der Kräfte von Abb. 1 in Abb. 2, gemäß Zahlentafel III, ist verzichtet, da in erster Linie die größten Kräfte interessieren, die sich aus der Belastung k = 4,5 ergeben.

Es kann daher in Ergänzung der Ergebnisse für den fehlerfreien Bogen gesagt werden, daß die Gesamtseitenkräfte in Bogen mit Richtungsfehlern in noch viel geringerem Ausmaße durch Anwendung der Regelüberhöhung, statt der Minimalüberhöhung abgemindert werden können, als im fehlerfreien Bogen. Die den Überhöhungen entsprechenden Kräfte (Spalte 9 in Zahlentafel III) können gegenüber der Tatsache, daß die Gesamtkräfte C + S bei Abminderung des Wertes von k = 4,5 um erhebliche Beträge sinken (Spalte 12 und 13 der Zahlentafel), ohne große Fehler zu machen, überhaupt vernachlässigt werden.

### III. Die Standsicherheit n und die Seitenbeschleunigung p im fehlerhaften Bogen.

Seitenbeschleunigung und Standsicherheit sind voneinander abhängig. Es ist

$$n = 127,1 \frac{(0,75 - e) r}{H (v^2 - 0,085 h r)}$$

oder mit e = 0,11, H = 2,008 und h in mm (für eine Schnellzuglokomotive)

$$16) \dots \dots \dots n = 40,5 \frac{r}{v^2 - 0,085 h r}$$

Die Standsicherheit n einer Lokomotive wird an den Stellen eines Bogens ein zulässiges Maß unterschreiten, wo durch Ungenauigkeit eines Absteckverfahrens, durch Verlegefehler und durch Verdrückung des Bogens unter dem Betrieb kleinere Halbmesser r<sub>x</sub> entstanden sind als der Sollhalbmesser.

Ein Halbmesser beliebiger Größe steht nach Formel 16) in folgender Beziehung zur Standsicherheit n

$$17) \dots \dots \dots r_x = \frac{v^2 n}{40,5 + 0,085 h n}$$

und gemäß der Formel

$$p = \frac{v^2}{12,96 r} - \frac{h}{153}$$

zur Seitenbeschleunigung

$$18) \dots \dots \dots r_x = \frac{11,8 v^2}{153 p + h}$$

Setzt man die Formeln 17) und 18) einander gleich, so folgt aus

$$n = \frac{477,5}{153 p - 0,003 h} \sim \frac{477,5}{153 p}$$

und

$$p = \frac{477,5}{153 n} + \frac{0,003}{153} h \sim \frac{477,5}{153 n}$$

mit sehr großer Annäherung die einfache Beziehung

$$19) \dots \dots \dots p n \sim 3,125.$$

In Abb. 1 sind unter Ausnutzung der Formel  $C = \frac{G}{10} p$

und der Formel 19) die zugehörigen Werte von p und n in zwei Zahlenreihen einander gegenübergestellt. Es können damit die zugehörigen Werte von C, p und n für Bogen beliebiger Halbmesser r<sub>x</sub>, die in einem Bogen von Sollhalbmesser r vorkommen, für den Fall der Schnellzuglokomotive, auf einer Höhe abgelesen werden. Die Standsicherheit beträgt bei a = 0,50 nur noch n ~ 1,46, statt 5,3 für a = 1,0.

Der Vergleich der Werte zeigt, wie außerordentlich ungünstig sich Richtungsfehler auch auf die Seitenbeschleunigung, insbesondere aber auf die Standsicherheit einer Lokomotive und damit auf die Fahrsicherheit im Gleis auswirken. (Vergleiche auch in Zahlentafel III die Spalten 6, 12 und 13.)

### IV. Steigerung der Kräfte im Bogen bei Überschreitung der höchst zulässigen Geschwindigkeit v = 4,5 √r.

Unzulässige Geschwindigkeitssteigerungen sollen im allgemeinen nicht vorkommen. An gewissen Stellen der freien Strecke treten sie aber erfahrungsgemäß doch ein. Nicht umsonst wird von Vorrichtungen zur Prüfung der Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeiten Gebrauch gemacht, allerdings in erster Linie aus Gründen der Betriebssicherheit. Unerwünschte Gleisverdrückungen sind natürlich gleichzeitig die Folge.

Im allgemeinen werden sich Geschwindigkeitssteigerungen dort ergeben, wo bei gering angesetzten zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ein gewisser Anreiz zur Steigerung der Geschwindigkeit vorliegt, oder da, wo in Gefällstrecken aus Unachtsamkeit ohne Mühe von der vorgeschriebenen Geschwindigkeit abgewichen werden kann.

Unzulässige Steigerungen der Geschwindigkeiten beanspruchen die Gleise im Bogen sehr stark. Sie können so angesehen werden, als ob in einem Gleisbogen die für einen anderen Bogen mit größerem Halbmesser zulässige Höchstgeschwindigkeit gefahren würde. Man könnte, um einen Zahlenwert zu nennen, annehmen, daß im Bogen mit r = 1200 m die im Bogen von r = 1200 + 100 = 1300 m oder im Bogen mit r = 300 die im Bogen von r = 300 + 100 = 400 m zulässige Höchstgeschwindigkeit gefahren wird. Die Zahl Hundert könnte für jeden einzelnen Fall durch einen beliebigen anderen zutreffenden Wert ersetzt werden; ein Gesetz über Geschwindigkeitssteigerungen in Gleisbogen läßt sich nicht aufstellen, da die Möglichkeit der Geschwindigkeitsüberschreitungen, außer von örtlichen Verhältnissen, auch von der Zuverlässigkeit des Lokomotivführers und von der Leistungsfähigkeit der Lokomotiven abhängig ist.

Nachstehend sei nur angedeutet, in welchem beträchtlichem Ausmaße sich Kräfte im fehlerfreien Bogen zusätzlich ändern können, wenn zu rasch gefahren wird:

Es ist nach Formel 2)

$$S_1 \sim A \frac{v^2}{r} = A \frac{k^2 r}{r}.$$

Mit der im Bogen ( $r + 100$ ) m zulässigen Fahrgeschwindigkeit ist dagegen

$$S_2 \sim A \frac{k^2 (r + 100)}{r}.$$

Der Unterschied  $\Delta S = S_2 - S_1$  ergibt die Kräftesteigerung im fehlerfreien Bogen mit

$$\Delta S \sim A \frac{k^2 (r + 100)}{r} - A \frac{k^2 r}{r}$$

$$\Delta S \sim A k^2 \frac{100}{r}$$

oder allgemein

$$20) \dots \dots \dots \Delta S \sim A k^2 \frac{Q}{r}.$$

Sie beträgt z. B. mit  $Q = 100$  für die genannten Halbmesser

$$\text{bei } r = 1200 \text{ m} \quad S \sim 370 \cdot 4,5^2 \frac{100}{1200} = 625 \text{ kg}$$

$$\text{bei } r = 300 \text{ m} \quad S \sim 370 \cdot 4,5^2 \frac{100}{300} = 2500 \text{ kg}$$

Die Kräftesteigerungen sind beträchtlich und identisch mit der Steigerung der Belastungen in den Bogen

bei  $r = 1200$  m von  $k = 4,5$  auf  $k = 4,68$

bei  $r = 300$  m von  $k = 4,5$  auf  $k = 5,2$

und werden im Dienstbetrieb tatsächlich vorkommen.

Aus ihrem Ausmaße ergibt sich wiederum, welche geringe Bedeutung den Kräftesteigerungen zukommt, die bei Abweichungen von der Regelüberhöhung entstehen.

Die Auswirkungen von Geschwindigkeitssteigerungen lassen sich für einen bestimmten Wert von  $Q$  aus den Hyperbeln in Abb. 2 ablesen.

#### V. Die „richtige Bemessung“ der Überhöhung. Schlußbemerkungen.

Die bisherigen Untersuchungen hatten zur Voraussetzung, daß sowohl der fehlerfreie, wie der fehlerhafte Bogen tatsächlich die im Rahmen der Vorschriften gewählte Überhöhung hat. Mit dieser Annahme war das Ergebnis der Untersuchungen, daß der Anwendung der Regelüberhöhung statt der Minimalüberhöhung ein höchst unbedeutender Einfluß auf die Gestaltung der Seitenkräfte im Bogen zukommt.

Ändern sich nun die Verhältnisse, wenn zu den Richtungsfehlern noch Fehler in der Überhöhung kommen?

Die beträchtlichen Steigerungen der Kräfte aus Richtungsfehlern und Geschwindigkeitsüberschreitungen lassen zwar unrichtige Überhöhungen mit weiteren Kräftesteigerungen als sehr bedenklich erscheinen, besonders auch im Hinblick auf die Standsicherheit der Lokomotiven im Gleis, die tatsächlichen Verhältnisse sind aber weitaus günstiger. Nach der allgemeinen Formel

$$21) \dots \dots \dots \Delta p = \frac{\Delta h}{153}$$

und

$$22) \dots \dots \dots \Delta C = \Delta p \cdot 1500 \text{ kg}$$

vergrößert jeder, an der Überhöhung fehlende Zentimeter die Seitenbeschleunigung  $p$  um nur

$$\Delta p = \frac{10}{153} = 0,0653 \text{ m/sec}^2$$

und die Kraft  $C$  um nur

$$\Delta C = 0,0653 \cdot 1500 = 98 \text{ kg}.$$

Diese kleinen Beträge können im Vergleich mit den Gesamtkräften der Zahlentafel III (Spalte 6, 12 und 13) bei

den vorkommenden Abweichungen von den Sollüberhöhungen niemals von Bedeutung sein. Hieraus folgt wieder, daß Unterschiede in den Überhöhungen die Gesamtseitenkräfte im Bogen kaum vergrößern. Wichtiger ist schon der Einfluß mangelnder Überhöhung auf die, im Gleis aus Gründen der Betriebssicherheit mindestens zu fordernde Standsicherheit und auf die, von Reisenden und Gütern aufzunehmende Seitenbeschleunigung (vergl. Spalte 6 in Zahlentafel III).

Es folgt weiter daraus, daß die Formeln für die Minimalüberhöhungen  $h_{\min} = \frac{11,8 v^2}{r} - 90$  ohne weiteres verwendet

werden kann und daß die Zahl 90 unbedenklich um einige Millimeter vergrößert werden könnte, wenn man in Zukunft der guten Richtung im Gleisbogen das Hauptaugenmerk zuwenden würde.

Die Formeln 21) und 22) zeigen aber auch, daß es unwichtig ist, ob die größte zulässige Überhöhung 150 mm oder etwa 160 oder 170 mm beträgt. (Vergleiche die in Abb. 1 dargestellten waagerechten für  $H-120$ ,  $H-110$  usw, sowie die beiden Schaulinien links von Schaulinie II.)

Als Schlußergebnis der Betrachtungen kann festgestellt werden, daß es abwegig wäre, durch „richtige Bemessung“ der Überhöhungen eine wesentliche Verminderung der Seitenkräfte erzielen zu wollen, sofern nach wie vor die Formel  $h = 8 \cdot k^2$  als Grundlage für die Bemessung der Überhöhungen gilt.

Wichtig ist, zu erkennen, daß die Richtungsfehler im Gleisbogen und die Geschwindigkeitsüberschreitungen fast die ausschließliche Ursache für die Gleisverdrückungen sind und die Standsicherheit sowie die Bequemlichkeit des Fahrens maßgebend beeinflussen.

Der Weg, der zur Verminderung der Seitenkräfte im Gleisbogen beschritten werden kann, ergibt sich klar aus den Zahlen in Tafel III (besonders aus den Spalten 5 und 6 sowie den Spalten 12 bis 17). Er kann wie folgt beschrieben werden:

1. Kein Gewicht legen auf „richtige Bemessung“ der Überhöhungen, sondern erhöhte Sorge aufwenden für gute Bogenrichtung; daher Achtung auf größte Sorgfalt bei Vermarkung und Verlegung von Gleisbogen (Anwendung des optischen Pfeilhöhenmessers!).

2. Darüber wachen, daß in Gleisstrecken eine als zulässig erachtete größte Seitenkraft im Gleisbogen nicht überschritten wird; daher langsamer fahren,

a) wenn eine Überschreitung der Kräfte, bei Verwendung schwerer, ungünstig gebauter Lokomotiven, etwa auf Nebenbahnen oder Gebirgsbahnen mit kleinen Halbmessern, nach der Vergleichsrechnung eintritt oder durch Messung festgestellt wird,

b) wenn in besonderen Fällen Geschwindigkeitsüberschreitungen (etwa in starken Gefällen oder in Bogen sehr kleinen Halbmessers vor Bahnhöfen sowie bei Geschwindigkeitsbeschränkungen auf freier Strecke) erfahrungsgemäß zur Vorsicht mahnen!

3. Festlegen einer größten zulässigen Belastung  $k$ , die die aus Fehlern der Bogenrichtung zusätzlich kommenden Kräfte bereits einschließt, da die Gleisbogen Fehler in gewissem Ausmaße stets aufweisen werden.

Der Übergangsbogen, der außer Halbmesser und Überhöhung das weitere notwendige Maß für einen Gleisbogen darstellt, spielt im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen die gleiche Rolle wie der Kreisbogen. Er muß jedoch außerdem eine ausreichende Länge derart haben, daß die in einem Kreisbogen auftretende Seitenbeschleunigung während genügend langer Zeit von Null auf den Höchstwert anwachsen kann.

Schließlich sei noch erwähnt, daß Kräftesteigerungen im Gleisbogen auch auf noch andere maßgebende Einflüsse zurückgeführt werden können, z. B. auf Lokomotiven mit größerem

Führungsdruck als der für Schnellzugslokomotiven und auf Schwingungen der Fahrzeuge. Auf solche und ähnliche Einflüsse sollte in der Untersuchung nicht eingegangen werden.

## Bücherschau.

**Eisenbahnbau.** Von A. Schaub. Band 1, sechste vollständig neubearbeitete Auflage mit 356 Abbildungen im Text. Verlag und Druck von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1935.

Die Neubearbeitung des Buches, das dem jungen Bautechniker eine Stütze und ein Anhalt während des Unterrichts auf einer höheren technischen Staatslehranstalt und nachher noch in seinem Berufsleben sein will, war nötig geworden, wie der Verfasser mit Recht im Vorwort sagt, durch „die zahlreichen und bedeutenden Fortschritte — in den letzten Jahren — auf fast allen Gebieten des deutschen Eisenbahnbaus, vor allem in der Ausbildung des Oberbaus und der Weichen“.

Der Doppelstellung des Buches für Unterricht und Beruf entspricht seine Einteilung. Es beginnt mit den Grundlagen für den Bau und die Einrichtung von Eisenbahnen aller Gattungen, denen sich die damit zusammenhängenden amtlichen Vorschriften, Vereinbarungen und Bestimmungen, z. B. über die zulässige Geschwindigkeit und Achszahl der Züge, die Umgrenzung des lichten Raumes und ähnliches mehr anschließen. Der Hauptteil des Buches, der 5. Abschnitt: „Bahngestaltung“ gibt einen ausführlichen Überblick über den Querschnitt des Bahnkörpers, über den Oberbau und seine Einzelteile, die Oberbauarten und -formen für Reichsbahn und Schmalspurbahnen, die Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaus, die Oberbaugeräte, die Weichen, Drehscheiben und Schiebebühnen sowie über die Nebenanlagen der freien Strecke, d. h. der Wegübergänge, der Einfriedigungen, der Schutzanlagen gegen Schneeberuhungen, Feuer usw. Neben dem im Vordergrund stehenden Reichsbahnoberbau sind aber auch die älteren Formen und Bauweisen besprochen, die aus wirtschaftlichen Gründen noch viele Jahre ihren bisherigen Zwecken dienen müssen oder auf Strecken geringerer Ordnung und Bedeutung verwendet werden. Der „Bahngestaltung“ folgt ein Abschnitt, in dem wichtige Einzelheiten bei der Anordnung und Ausführung einfacher Eisenbahnhochbauten — kleinere Empfangsgebäude, Güter-, Lokomotiv- und Wagenschuppen — behandelt werden. Eine Zusammenstellung der Grundzüge für die Anlage der Bahnen und der wichtigsten betriebstechnischen Grundlagen der Linienführung beschließt das Buch.

Sicherlich wird die vorliegende 6. Auflage den gleichen Zuspruch und die gleiche Anerkennung von Lehrern und Schülern der technischen Fachschulen finden wie die vorhergegangenen Auflagen. Wie wohl in jedem Lehrbuch kommen auch in der Neubearbeitung einige Stellen vor, an denen die Auffassung des Fachmannes von der des Verfassers abweicht. Ebenso sind unter den sonst mit Sorgfalt und Sachkenntnis ausgewählten Abbildungen verschiedene, die in der nächsten Auflage besser entweder fortgelassen oder durch geeignetere ersetzt werden sollten. Auch sprachliche Verbesserungen könnten den Erfolg des Buches noch erhöhen.

K. B.

**Praktische Anwendung der Baugrunduntersuchungen bei Entwurf und Beurteilung von Erdbauten und Gründungen** von Dr. Ing. W. Loos, Regierungsbaurat, Berlin. Mit 95 Textabbildungen. Berlin: Julius Springer 1935.

Das Buch erfüllt den Wunsch vieler Bauingenieure, eine kurze, leichtfaßliche Darstellung der angewandten neueren Baugrundforschung zu erhalten; die vorhandenen Lehr- und Handbücher sind meist zu umfangreich oder zu ausführlich und bieten trotzdem nicht schnell genug eine geeignete Handhabe zur praktischen Nutzenanwendung. Weiter will das Buch mit den Grundzügen bekanntmachen, die man bei dieser Baugrundforschung als richtig und zweckmäßig, vor allem aber als wirtschaftlich erkannt und anerkannt hat.

Einer kurzgefaßten Bezeichnung, Beschreibung und Unterscheidung der Bodenarten in nichtbindige und bindige Böden und in Löß, folgt ein Überblick über die Vorarbeiten, die zur Klärung der Bodenverhältnisse notwendig sind, verbunden mit

einem Vorschlag für die Reihenfolge der einzelnen Abschnitte einer Baugrunduntersuchung und mit Richtlinien für die Entnahme von Bodenproben. Im Anschluß daran wird eine Reihe bodenphysikalischer Versuche, ihre Anwendung und Auswertung beschrieben und zugleich ein Vorschlag gemacht, wie Bauingenieure für Baugrunduntersuchungen am besten auszubilden wären, nicht nur, solange sie noch Studierende der Technischen Hochschulen sind, sondern auch, wenn sie schon im Beruf stehen, durch besondere Schulungskurse.

Wegen seiner Wichtigkeit für jedes Bauwerk ist der Abschnitt: „Beziehung Bauwerk — Baugrund (meist vermittelt durch Gründungskörper)“ am ausführlichsten behandelt. An Hand praktischer Beispiele aus dem Erd-, Straßen- und Eisenbahnbau, dem Wasser- und Hafengebäudebau, dem Brücken-, Hoch- und Ingenieurbau, aber auch aus dem Grundbau für Zwecke der Landesverteidigung wird gezeigt, wie die Arbeiten ausgeführt wurden, wie z. B. der Erdkörper zu sichern ist, wie Rutschungen, Frostschäden und ähnliches mehr entstehen können, wie sie zu verhüten und zu bekämpfen sind, was man beim Tunnel- und Stollenbau, bei tiefen Einschnitten, bei Bergbausenkungen, bei Staudämmen usw. zu beachten und zu beobachten hat. Diesen praktischen Beispielen folgt ein kurzer Überblick über Zweck, Wert, Vorteile, Tragfähigkeit usw. von Flach- und Pfahl-, von Brunnen- und Druckluftgründungen sowie von Bodenverfestigungen, daran anschließend ein Hinweis, daß und wie man Beobachtungen an Bauwerken anordnen soll. Das Buch schließt mit der Erklärung einiger bodenmechanischen Ausdrücke; von seinen sechs Beilagen dürfte für Bodenuntersuchungen die erste am wichtigsten sein, die einen Anhalt für einheitliche Benennung der Bodenarten und Aufstellung der Schichtenverzeichnisse gibt.

Zweifellos wird das Buch allen Bauingenieuren am Zeichentisch wie an der Baustelle von Nutzen sein.

K. B.

**Führer durch die Technische Mechanik.** Eine neuartige Übersicht über ihre Grundlagen, Methoden und Ergebnisse für Studium und Praxis. Von Dr. Ing. Horst Müller, Privatdozent an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 166 Textabbildungen. VIII. 118 Seiten. Berlin: Julius Springer 1935.

Wie der Verfasser im Vorwort darlegt, soll das vorliegende Werk weder ein Lehrbuch noch ein Ersatz für Vorlesungen sein. Es soll vielmehr dem bereits mit den Grundgesetzen der Mechanik Vertrauten das Blickfeld erweitern und die zwischen den einzelnen Teilgebieten bestehenden Zusammenhänge näher bringen. Diesem Grundgedanken sind sowohl der Aufbau des Buches als auch die Behandlung des Stoffes untergeordnet. Auf strenge Systematik und Ableitung der Lehrsätze ist dabei verzichtet. Graphische und analytische Methoden werden unmittelbar nebeneinander — oft schlagwortartig — behandelt. Auf diese Weise war es möglich, in gedrängter und doch übersichtlicher Form alles das zu bringen, was für den wissenschaftlich arbeitenden Ingenieur vonnöten ist. Allerdings ist durchweg nur die Mechanik „starrer Systeme“ behandelt, ohne daß dieses weder im Titel noch im Vorwort des Buches zum Ausdruck gebracht wird.

Das Buch ist in vier Hauptabschnitte gegliedert: A. Vorbemerkungen, in denen u. a. das Rechnen mit Vektoren sowie verschiedene Methoden der Differentiation und Integration gegebener Kurven besprochen werden. B. Statik, die sich naturgemäß nur auf statisch bestimmte Formen beschränkt, da wie gesagt nur starre Systeme behandelt werden. C. Kinematik und D. Kinetik. Der dynamische Teil stellt zweifellos gewisse Ansprüche an das Verständnis des weniger geschulten Lesers. Wenn dieser dadurch aber zu weiterem Studium angeregt wird, so dürfte der Zweck des Buches — und damit die Absicht seines Verfassers — erfüllt sein. Zu diesem Zweck wären allerdings einige Literaturangaben erwünscht gewesen.

W. Kaufmann.

*Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle deutschen 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.