DIE BAUTECHNIK

7. Jahrgang BERLIN, 13. Dezember 1929 Heft 54

Alle Rechte vorbehalten.

Dalben aus flußstählernen Spundbohlen.

Von Regierungsbaurat **Moeller** (†), Duisburg-Meiderich.

Nach Angabe von Marinebaurat Pein in der „Bautechnik" 1929, Heft 6, ist bereits versucht worden, die bekannten hölzernen Dalben, die nur eine geringe Lebensdauer haben und starken Schiffstößen nicht genügenden Widerstand leisten, durch Dalben aus Spundeisen ähnlich der Bauweise Larssen, die paarweise zu Kastenprofilen zusammengefügt sind, zu ersetzen. Die von Pein a. a. O. eingehend beschriebenen zylindrischen Dalben, die von Oberbaurat Bock, Köln, konstruiert sind, haben sich für die See zwar gut bewährt, ihre Herstellung bedingt aber besonders große und gut bediente Bau- und Fördergeräte, wie sie wohl der Marineverwaltung in Wilhelmshaven zur Verfügung standen, nicht aber den Mitteln einfacher Baustellen im Lande entsprechen.

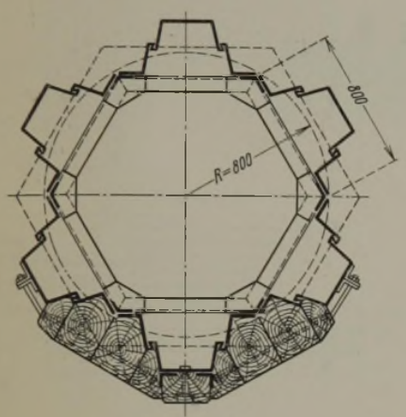


Abb. 1.

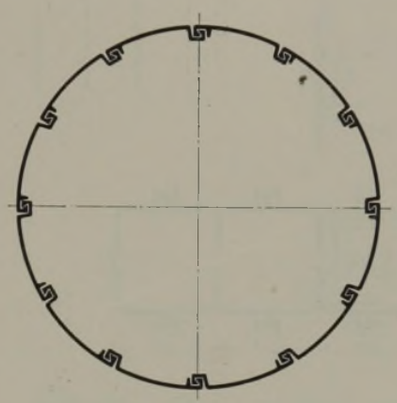


Abb. 2.

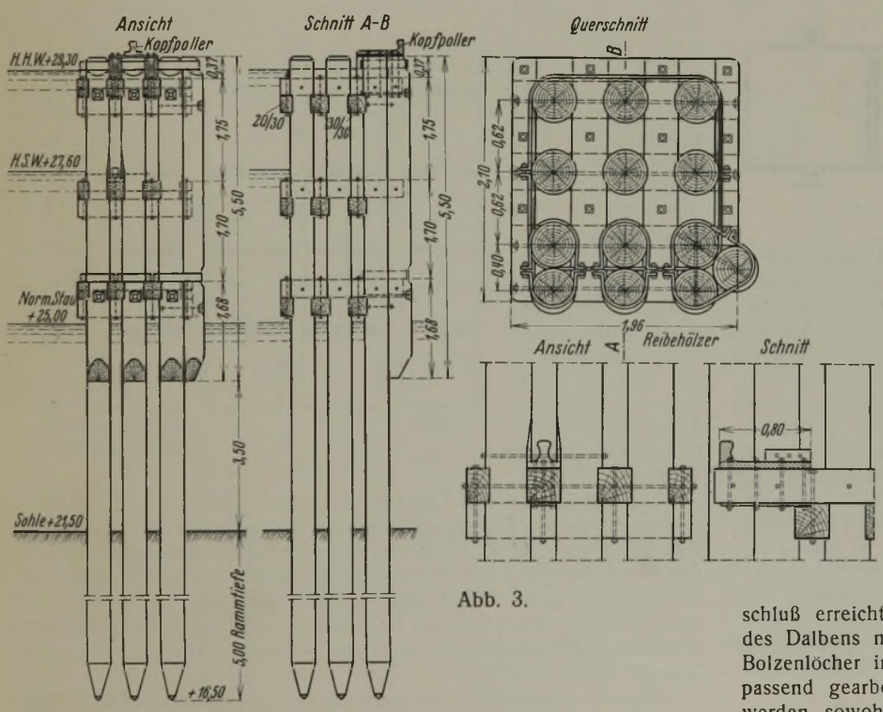


Abb. 3.

Ein anderer zylindrischer Dalben aus Spundbohlen, und zwar aus sechs einfachen Larsseneisen Profil IV und sechs eisernen Zwischenstücken bestehend, ist für die Zwillingsschachtschleuse bei Fürstenberg a. O. versuchsweise vorgeschlagen und am Ende der seitlichen Unterwasserleitwerke aufgestellt worden (Abb. 1). Alle Bohlen und Zwischenstücke sind heruntergerammt worden, der ganze Dalben wurde zusammengesetzt vom Werk geliefert, dabei dienten 5 Ringe aus Winkeleisen zur Verbindung der einzelnen Teile. Auf der Baustelle wurde der zusammengesetzte Dalben aufgerichtet und unter die Ramme gebracht. Dann wurden jeweils eine normale und eine benachbarte geknickte Bohle zusammen heruntergerammt, nachdem die geknickte Bohle vorher vom Verbindungsring gelöst war. Ein unerwünschtes Mitziehen benachbarter Bohlen wurde durch Wiederbefestigen am Ring verhindert. Nachdem alle Bohlen auf volle Tiefe gerammt waren, wurden im frei stehenden Teil des Dalbens die drei Winkelringe dauernd befestigt. Die Gesamtlänge dieses Dalbens beträgt 15,50 m, davon stehen etwa 7,50 m frei und 8 m im Boden. Die Schwierigkeiten beim Transport und bei der Herstellung und damit die Kosten waren für diesen Dalben verhältnismäßig groß.

Zur Verminderung der Herstellungskosten war für weitere Versuche ein Dalben vorgeschlagen worden, der aus neuerdings von der „Dortmunder Union" in den Handel gebrachten ganz flachen Spundeisen besteht, deren jedes nach der Profilhöhe eine geringe Biegung erhält, so daß ein ringförmiger Dalben mit glatter Oberfläche entsteht und die unwirtschaftliche Holzbekleidung sich erübrigt (Abb. 2). Inzwischen hat aber der Verfasser dieses Aufsatzes eine neuartige Anordnung von Dalben aus den schon von Bock benutzten Kasteneisen angegeben, die sich bei einfacher Bauart in der Form und Stärke den jeweils vorliegenden Verhältnissen weitgehend anpassen und sich gleich gut für die See wie für die Binnenwasserstraßen eignen.

In der Bauart ähnelt dieser Dalben dem hölzernen Bündeldalben (Abb. 3), der sich am Rhein-Herne-Kanal von den dort erprobten Dalbenarten am besten bewährt hat. An die Stelle der hölzernen Pfähle treten jedoch Kasteneisen der Vereinigten Stahlwerke, Dortmunder Union AG. Abb. 4 zeigt den Entwurf eines flußstählernen Bündeldalbens, der im Oberwasser der sehr verkehrsreichen Schleuse I des Rhein-Herne-Kanals gerammt werden soll, und zwar als erster in einer Dalbenreihe vor dem Leitwerk, wo er durch die anfahrenden und abstoppenden Schiffe in besonders hohem Maße beansprucht wird. Der Dalben ist daher sehr stark ausgebildet; bei den in der Reihe stehenden weniger beanspruchten Dalben wird man zweckmäßig aus wirtschaftlichen Gründen das innere Kasteneisen weglassen, so daß der Dalben dann nur aus 8 Pfählen besteht. Die Rammtiefe ist mit 6 m vorgesehen, die freie Länge über der Sohle beträgt 8 m, die Gesamtlänge der flußstählernen Kastenprofile also 14 m. Die Verbindung der einzelnen Pfähle geschieht in der Fahrtrichtung der Schiffe, also in der Richtung der häufigsten und stärksten Beanspruchungen in gleicher Weise wie bei einer Spundwand aus Kastenprofilen mittels des normalen Kastenschlosses. Senkrecht dazu sind am Kopf sowie kurz über dem normalen Stauspiegel je drei starke eiserne Bolzen angeordnet, wodurch ein fester Zusammenschluß erreicht wird. Durch die Bolzen darf die Bewegungsmöglichkeit des Dalbens nicht beeinträchtigt werden, aus diesem Grunde sind die Bolzenlöcher in den Spundwandeisen nur am Kopfe und an der Mutter passend gearbeitet; alle im Innern des Dalbens liegenden Bolzenlöcher werden sowohl nach den Seiten wie auch nach oben und unten mit Spielraum hergestellt.

Falls es erwünscht ist, an der Vorderseite des Dalbens eine glatte Fläche zu erhalten, wird man die Bolzen so anordnen, daß der Kopf in der Vertiefung zwischen den Kastenprofilen liegt (Abb. 5). Auch müssen, falls der Dalben frei steht, so daß die Schiffe von allen Seiten heranfahren können, die vorspringenden Führungseisen abgeschnitten und durch eine aufgeschweißte Lamelle ersetzt werden (Abb. 6). Sollte bei ungünstigen Untergrundverhältnissen die Befürchtung bestehen, daß die durch die Bolzen zu verbindenden Kasteneisen beim Rammen stark aus der Richtung weichen, so daß beim fertigen Dalben ein ordnungsmäßiges Zusammen-

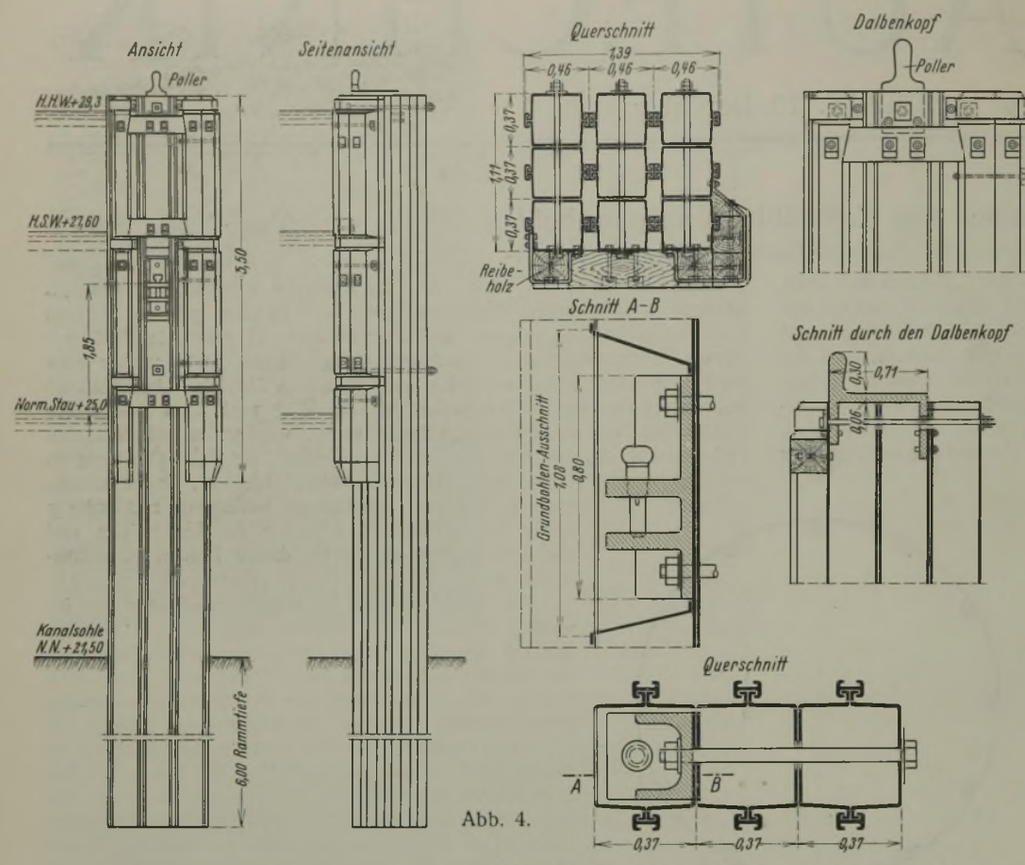


Abb. 4.

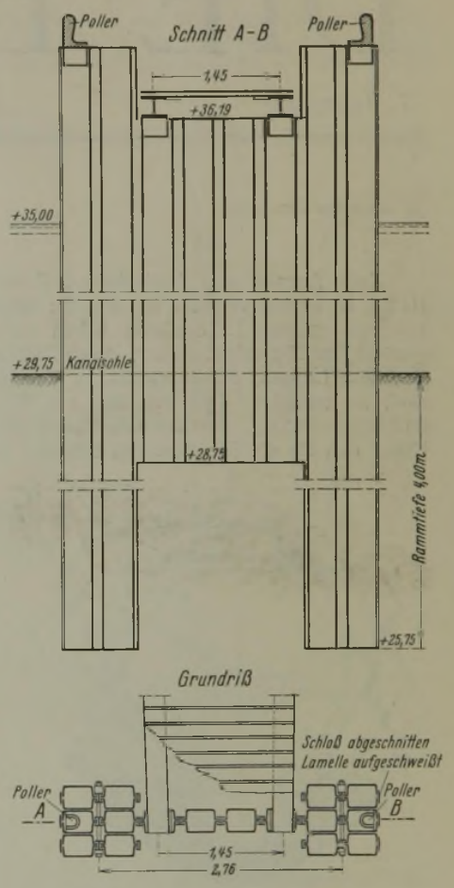


Abb. 5.

fügen durch die Bolzen erschwert wird, dann empfiehlt es sich, auf die Bolzen zu verzichten und den Zusammenhang der nicht durch das Schloß verbundenen Teile durch Nietung oder Verschraubung zu bewirken. Die jeweils zu rammenden Eisen erhalten dann die in Abb. 7 dargestellte Form, die Rammhaube muß entsprechend ausgebildet werden. Die Beweglichkeit der einzelnen Kasteneisen gegeneinander in jeder Richtung wird auch bei dieser Bauart nicht aufgehoben, da sich die Bewegungen sowohl in der Längsrichtung wie auch in der Tiefe in Nut und Feder auswirken können.

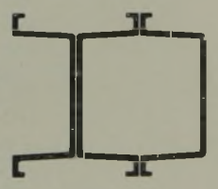


Abb. 7.

Die Bauart ohne Bolzen oder mit versenktem Bolzenkopf in der Vertiefung zwischen den Kasteneisen und mit abgeschnittenen Führungseisen ist stets erforderlich, wenn der Dalben ohne Reibehölzer verwendet werden soll. Grundsätzliche Bedenken gegen das Fortlassen der Reibehölzer bestehen nicht, denn eine Gefährdung der Schiffe ist bei dem sehr nachgiebigen Bündeldalben auch ohne Reibehölzer nicht in höherem Maße zu befürchten als bei einem starken, aus verspreizten gut verzimmerten Pfählen bestehenden starren Holzdalben. Jedenfalls empfiehlt es sich, Versuche mit eisernen Dalben ohne Reibehölzer zu machen. Sie können ohne Bedenken Verwendung finden, wo sie mit nicht zu großen Zwischenräumen in einer ganzen Reihe verwendet werden, um als Leitwerk oder als Verlängerung eines solchen zu dienen. Für den ersten Dalben der Reihe, der zum Anfahren dient, ist jedoch ein Schutz empfehlenswert. Der für eine solche Stelle vorgesehene, in Abb. 4 dargestellte Dalben ist daher an der der Schiffahrt zugekehrten Ecke sowie an der ganzen Vorderseite mit eichenen Schutzhölzern versehen. Die Befestigung der Reibehölzer geschieht durch eiserne Bänder und Bolzen; die Bolzen erhalten, soweit sie zur Befestigung an den Spundwandeisen dienen, einen Hammerkopf, so daß sie bei Erneuerung der Hölzer nötigenfalls auch ausgewechselt werden können.

Zur Ausrüstung eines Dalbens gehören außer den Reibehölzern zweckmäßige Vorrichtungen zum Festmachen der Schiffe. Im vorliegenden Falle sind zwei kleine Poller aus Stahlguß vorgesehen. Der erste befindet sich am Kopfe des Dalbens, wo er fest mit den Kasteneisen verbunden ist; er dient zum Festmachen der Schiffe bei höheren Wasserständen. Der zweite Poller ist so angebracht, daß er bei dem im allgemeinen vorhandenen normalen Stauspiegel gut erreichbar ist. Er liegt im Inneren des mittleren Kasteneisens und ist nach hinten durch starke Bolzens gesichert.

Nach der Fertigstellung des Dalbens werden die Hohlräume der Kasteneisen sowie die Zwischenräume mit reinem Sand und Kies ausgefüllt. Hierdurch wird die für die Aufnahme von Schiffstößen wünschenswerte große Masse erreicht, ohne daß die Nachgiebigkeit aufgehoben wird, außerdem bewirkt der Sand an der Berührungsstelle mit dem Stahl erfahrungsgemäß die Bildung einer Schutzschicht, die eine vorzeitige Zerstörung durch Rost verhindert. Am Kopf ist ein über die ganze Fläche reichender Verschluß aus Beton oder besser Bitumen vorgesehen.

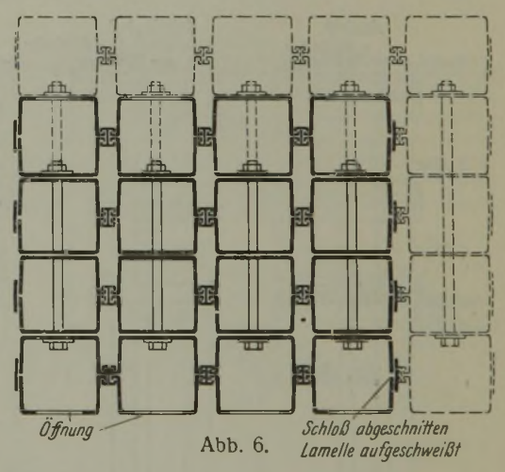


Abb. 6.

Die Herstellung des Dalbens ist einfach. Die Ramme schlägt vor sich zuerst die erste, dann die folgenden Reihen, dabei ist es zweckmäßig, jede Reihe vor dem Rammen zusammenzusetzen und dann die einzelnen Eisen mit der hin- und herwandernden Ramme möglichst gleichmäßig herunterzuschlagen. Das Zusammensetzen der Kasteneisen wird wesentlich erleichtert, wenn man das Kastenschloß etwa auf halber Länge durchschneidet und zunächst nur die untere Hälfte mit ansetzt, die obere Hälfte dagegen später einschiebt.

Eine Vereinfachung und Verbilligung der Rammarbeiten wird sich auch durch Verwendung des von der Demag, Düsseldorf, neuerdings konstruierten Rammhammers erreichen lassen. Diese Rammvorrichtung, die dem bereits bekannten Pfahlzieher ähnelt, wirkt besonders günstig durch die schnelle Aufeinanderfolge der Schläge, wodurch bei Schonung der Pfähle höhere Leistungen erzielt werden als bei den bisher üblichen Rammen. In vielen Fällen wird ferner die geringere Erschütterung der Umgebung des Rammplatzes sowie der geringere Platzbedarf von Vorteil sein. Abb. 8 zeigt den Rammhammer beim Schlagen flußstählerner Spundbohlen vom schwimmenden Prahm aus, Abb. 9 die Verwendung in enger Baugrube.

Der eiserne Bündeldalben bietet mancherlei Vorteile. Zunächst ist seine große Anpassungsfähigkeit an die Schiffahrtverhältnisse hervor-

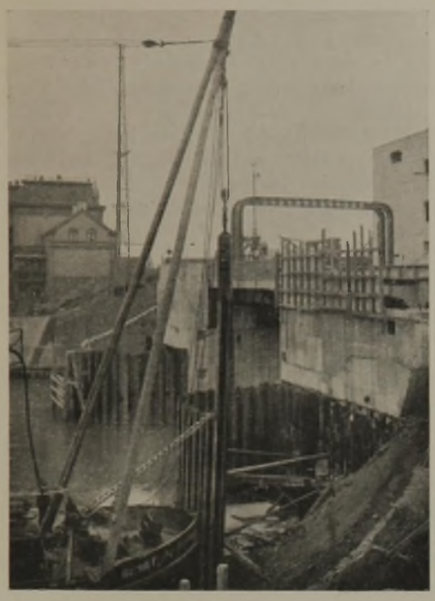


Abb. 8.

zuheben, er läßt sich sowohl in der Binnenschiffahrt wie auch als Ersatz für die größten hölzernen Dalben in der Seeschiffahrt verwenden. Abb. 5 zeigt den Kopf einer Landebrücke für Schleppdampfer. Hier sind aus dem Profil Ic zwei sechspfählige flußstählerne Dalben vorgesehen, die durch eine Reihe von nur 1 m tief gerammten Kasteneisen miteinander verbunden sind. Dadurch erhält man eine nachgiebige und trotzdem dauerhafte und sehr widerstandsfähige Konstruktion, die für den durch Schiffstöße stark beanspruchten Kopf der Landebrücke besonders gut geeignet ist. Reibehölzer sind nicht vorgesehen. Um die aus diesem Grunde erforderlichen glatten Außenflächen zu erzielen, liegen an der Vorderseite die Bolzenköpfe in der Vertiefung zwischen den Kasteneisen, ferner sind die vorspringenden Führungseisen abgeschnitten und durch eine angeschweißte Lamelle ersetzt.

Abb. 6 zeigt die Bauart eines für Seehäfen geeigneten 16pfähligen sowie in punktierten Linien die eines besonders starken 25pfähligen Dalbens. Reibehölzer sind auch für diesen von allen vier Seiten für die Schiffahrt zugänglichen Dalben nicht vorgesehen, bezüglich der Führungseisen ist daher in gleicher Weise verfahren wie im vorhergehenden Beispiel. Kopf und Mutter der Ankerbolzen greifen an der Innenwand der äußeren Kasteneisen an, wobei sie durch die in der äußeren Wand erforderliche Öffnung zugänglich bleiben. Um die vorgesehene Sandfüllung zu ermöglichen, werden oberhalb und unterhalb der Öffnung für die Poller im Kasteneisen Bleche angebracht (Abb. 4, Schnitt *A—B*).

Gerade für die See, wo der Bohrwurm die Lebensdauer ungünstig beeinflußt, und wo die Beanspruchung durch die großen Seeschiffe die Zerstörung beschleunigt, ist aus wirtschaftlichen Gründen der Ersatz der aus zahlreichen Pfählen bestehenden teuren hölzernen Dalben durch ein dauerhafteres Material dringend erwünscht. Die Kosten für die großen Seeedalben lassen sich übrigens wesentlich einschränken, wenn man einen Teil der inneren Kasteneisen wegläßt, so daß ein rechteckiger oder kreuzförmiger Hohlraum entsteht, der dann mit Kies und Sand gefüllt wird.

Falls die Beanspruchung vorwiegend in einer Richtung stattfindet, ist es unter Umständen zweckmäßig, den Dalben nicht quadratisch, sondern in der Richtung der Beanspruchung stärker, also in rechteckiger Form auszubilden. Diese Form ergibt sich ohne weiteres bei Verwendung des Profils Ic, während sie bei dem stärkeren Profil II durch Hinzufügen einer Pfahlreihe in der Richtung der Beanspruchung erreicht werden muß.

Selbstverständlich ist es auch möglich, den flußstählernen Dalben durch einzelne schräggestellte Kasteneisen zu verstärken. Diese Bauart ist jedoch nicht zu empfehlen, da ein solcher Dalben zum Nachteil der Schiffahrt seine Elastizität verliert; man sollte die erforderliche Verstärkung des Dalbens stets durch weitere senkrecht gerammte Kasteneisen zu erreichen suchen.

Die große Elastizität des eisernen Bündeldalbens beruht einmal auf der Verwendung des an sich elastischen Stahles, dann aber auch auf dem Fehlen jeder starren Verbindung. Der trotzdem vorhandene gute Zusammenschluß und die hohe Biegungsfestigkeit der verwendeten Kastenprofile lassen erwarten, daß auch bei starker Beanspruchung ein Brechen über der Sohle nicht eintreten wird, während dies z. B. am verkehrsreichen Rhein-Herne-Kanal bei den hölzernen neunpfähligen Bündeldalben, besonders wohl infolge ungleichmäßiger Beanspruchung der Pfähle, keine Seltenheit ist.

Die Biegsamkeit des stählernen Bündeldalbens in Verbindung mit der großen Masse, die durch die Sandfüllung erreicht wird, ist das beste Mittel zur allmählichen Aufzehrung der lebendigen Kraft der anfahrenden Schiffe. Dabei wird der Vorteil erreicht, daß der Widerstand entsprechend der mit der Biegung wachsenden Reibung im Schloß allmählich anwächst; auch die Reibung zwischen dem Stahl und der Sandfüllung muß hierbei überwunden werden.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die bisher gewalzten Profile der Kasteneisen mit ihren Abmessungen und Eigenschaften.

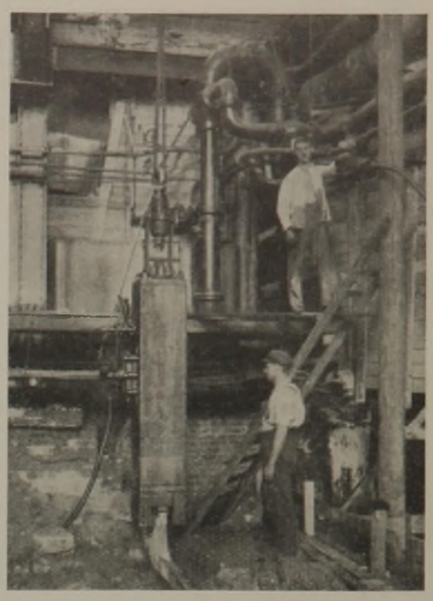
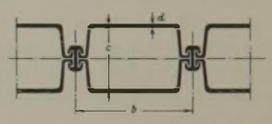


Abb. 9.



Union-Kastenwand.

Profil Nr.	b mm	c mm	d mm	Gewicht kg/lfd. m	Gewicht kg/m²	Querschnitt in cm² für 1 lfd. m Wand	Umfang in cm	Widerstandsmoment für 1 lfd. m Wand Wz (in cm³/m)	Trägheitshalbmesser cm	Trägheitsmoment cm⁴	Größtmoment tm $d = 1200$	Größtmoment tm $d = 1560$
Ic	460	270	10,5	2 · 56,7 + 19,2 = 132,6	288	2700 366	268	2604	9,82	35 100	31,25	40,62
Ic verst.	460	276	13,5	2 · 67,7 + 19,2 = 154,6	336	2760 426	270	3174	10,15	43 801	38,09	49,51
II	460	369	14,5	2 · 77,5 + 19,2 = 174,2	380	3690 478	308	4800	13,60	88 500	57,60	74,88

Der in Abb. 4 dargestellte flußstählerne Dalben kostet fertig hergestellt unter Zugrundelegung von Angeboten leistungsfähiger Rammfirmen und der von der Dortmunder Union angegebenen Materialpreise als Einzeldalben gerammt rd. 7400 R.-M.

Die Unterhaltungskosten der flußstählernen Dalben sind selbst bei starker Beanspruchung nur gering, sie werden in der Hauptsache durch Ausbesserung der Reibehölzer entstehen und dürfen bei sehr starkem Verkehr mit rd. 40 R.-M. jährlich angesetzt werden.

Die Lebensdauer flußstählerner Spundbohlen kann nach den bisher vorliegenden günstigen Erfahrungen zu 80 bis 120 Jahren angenommen werden.[1]) Da jedoch auch bei den flußstählernen Dalben in besonders ungünstigen Fällen mit vorzeitiger Zerstörung durch mechanische Einflüsse gerechnet werden muß, soll für den wirtschaftlichen Vergleich mit Holzdalben nur eine Lebensdauer von 50 Jahren zugrunde gelegt werden.

Der mit dem flußstählernen zu vergleichende Holzdalben soll die gleiche Raumtiefe, Pfahllänge und Pfahlzahl wie dieser aufweisen und in gleicher Weise mit eichenen Reibehölzern und Festmachepollern aus Stahlguß ausgerüstet sein, im übrigen gleicht er dem in Abb. 3 dargestellten im Rhein-Herne-Kanal ausgeführten hölzernen Bündeldalben. Ein solcher Dalben kostet rd. 4800 R.-M.

Die jährlichen Unterhaltungskosten betragen nach den Erfahrungen auf dem Rhein-Herne-Kanal für einen an besonders beanspruchter Stelle vor dem Leitwerk stehenden hölzernen Dalben mindestens rd. 100 R.-M., während die Lebensdauer 8 bis 9 Jahre nicht überschreitet, für den Vergleich sind 9 Jahre eingesetzt.

Rechnet man mit einer Verzinsung von $6^1/_2$ % und einer Tilgung des Anlagekapitals von $^1/_2$ %, so ergibt sich für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit die umstehende Zusammenstellung.

Die nachstehende Wirtschaftlichkeitsberechnung ist durchgeführt für in der Bauart ähnliche neunpfählige Dalben aus Holz bzw. Flußstahl, von

[1]) Vgl. Zentralbl. d. Bauverw. 1925 vom 11. November.

	Bündeldalben aus 9 Holzpfählen	Bündeldalben aus 9 Kasteneisen
I. Anlagekapital	4800 R.-M.	7400 R.-M.
II. Lebensdauer	9 Jahre	50 Jahre
III. Jährlich wiederkehrende Ausgaben:		
1. Tilgung des Anlagekapitals .	24 R.-M.	37 R.-M.
2. Verzinsung des Anlagekapitals	312 „	481 „
3. Abschreibung	533 „	148 „
4. Unterhaltung	100 „	40 „
IV. Summe der jährlich wiederkehrenden Ausgaben	969 „	706 „
V. Gesamtausgabe in 50 Jahren .	$4800 + 50 \cdot 969 = 53\,250$ R.-M.	$7400 + 50 \cdot 706 = 42\,700$ R.-M.

denen aber der letztere technische Vorteile bietet, deren Ausgleich beim hölzernen Dalben, soweit er überhaupt möglich ist, ein höheres Anlagekapital und damit eine weitere Herabsetzung der Wirtschaftlichkeit bedingen würde. Trotz dieser für den hölzernen Dalben günstigen Vergleichsunterlage und trotz der ungünstigen Annahme für die Lebensdauer der flußstählernen Dalben beweist die Zusammenstellung eine wesentliche wirtschaftliche Überlegenheit der letzteren. Die Ersparnis, die in 50 Jahren 10 550 R.-M. oder jährlich rd. 211 R.-M. für jeden Dalben beträgt, wird bei verkehrsreichen Wasserstraßen und Häfen mit zahlreichen Dalben zu beträchtlichen Summen führen. Noch weit günstiger wird der Vergleich für die flußstählernen Dalben, wenn sie ohne Reibehölzer verwendet werden.

Das Ergebnis ändert sich auch nicht, wenn der Vergleich, statt wie im vorliegenden Fall, für Dalben an besonders beanspruchter Stelle in verkehrsreicher Wasserstraße unter anderen Grundlagen durchgeführt wird, wo für den hölzernen Dalben bei billigerer Bauart mit einer Lebensdauer bis zu etwa 15 Jahren gerechnet werden kann; selbstverständlich muß dann auch ein flußstählerner Dalben mit entsprechender Ausbildung und höherer Lebensdauer bis zu etwa 80 Jahren in Vergleich gestellt werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Bewegungswiderstand der Eisenbahnwagen in Kurven
(ohne Berücksichtigung der Lokomotiven und Tender).

Von Dr.-Ing. ehr. **H. Meißner Pascha,** Konstantinopel.

Die praktischen Formeln für die Berechnung der Widerstände in den Eisenbahnkurven lassen an Einfachheit nichts zu wünschen übrig, hingegen an Richtigkeit um so mehr.

Jeder Eisenbahner weiß, daß der Widerstand in den Kurven nicht nur von dem Kurvenhalbmesser abhängt, sondern auch von dem Gefälle und von der Last und Länge des Zuges, bzw. der Länge der Kurve, während die bisher gebräuchlichen Formeln nur dem Halbmesser Rechnung tragen.

Da es von größter Wichtigkeit ist, beim Trassieren von Gebirgsbahnen gegebenenfalls möglichst große Steigungen anzuwenden, ohne jedoch den zulässigen Gesamtwiderstand zu überschreiten, ist es erforderlich, die Widerstände etwas näher kennenzulernen.

In der nachfolgenden Untersuchung der in einem Eisenbahnzuge herrschenden Zugkräfte wollen wir folgende drei Fälle unterscheiden:

A. Der Zug befindet sich auf seiner ganzen Länge in der Kurve.
B. Die Lokomotive, der Tender und ein Teil der Wagen befinden sich in der Kurve, der Rest der Wagen ist noch in der Geraden.
C. Lokomotive mit Tender und ein Teil der Wagen sind bereits wieder in der Geraden, nur die letzten Wagen sind noch in der Kurve.

Fall A.

Der Kurvenwiderstand setzt sich zusammen:

1. aus dem Widerstande w_1, der durch die starre Verbindung der Räder mit ihrer Achse verursacht ist,
2. aus dem Widerstande w_2, der vom Parallelismus der Radachsen herrührt,
3. aus dem Widerstande w_3, der durch den Richtungsunterschied der Bahnen der verschiedenen Wagen entsteht,
4. aus dem Widerstande w_4, herrührend von der Fliehkraft,
5. aus der Wirkung der Schienenüberhöhung.

Zu 4. Durch die Fliehkraft werden die Kränze der äußeren Räder gegen die Außenschienen gedrückt, was den von Geschwindigkeit, Wagengewicht und Kurvenhalbmesser abhängigen Widerstand w_4 erzeugt.

Zu 5. Die Schienenüberhöhung hat den Zweck, die Wirkung der Fliehkraft auszugleichen.

Sie wird mit Genauigkeit für eine Geschwindigkeit berechnet. Da aber die auf dem Gleis verkehrenden Züge ganz verschiedene Geschwindigkeiten haben, ist der beabsichtigte Ausgleich nicht erreichbar.

Der Einfachheit halber wollen wir jedoch mit allen bisherigen Autoren annehmen, daß der erhoffte Ausgleich einträte, und in der Folge die Wirkung der Fliehkraft und die Schienenüberhöhung vernachlässigen.

Zu 1. Der aus der starren Verbindung der Räder mit ihrer Achse entstehende Widerstand w_1 berechnet sich in folgender Weise:

Es sei ϱ der Kurvenhalbmesser in Bahnachse gemessen, s die Spurweite, die wir an Stelle des Abstandes der beiden Laufkreise eines Räderpaares einführen, P das Gewicht des Wagens, f der Koeffizient der gleitenden Reibung. Wenn der Wagen um 1 m vorrückt, legt der äußere Radkranz $\frac{\varrho + \frac{s}{2}}{\varrho}$ zurück und der innere $\frac{\varrho - \frac{s}{2}}{\varrho}$. Der Unterschied zwischen diesen beiden Wegen $1 + \frac{s}{2\varrho} - \left(1 - \frac{s}{2\varrho}\right) = \frac{s}{\varrho}$ ist also der Weg, der unter dem Widerstand durch gleitende Reibung zurückgelegt wird für jedes Meter, um das sich der Wagen fortbewegt.

Nehmen wir an, daß die Gleitbewegung nur auf der einen Seite stattfinde, woselbst die Last $\frac{P}{2}$ wirkt, so ist die Arbeit der gleitenden Reibung auf die Länge 1 gleich w_1:

$$w_1 = f \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{s}{\varrho}.$$

Zu 2. Widerstand w_2 infolge des Parallelismus der Radachsen. Wenn der Wagen einen vollen Kreis vom Halbmesser ϱ durchläuft, ist die Gleitbewegung der Radreifen dieselbe, als ob der Wagen sich um 360° um seine lotrechte Achse gedreht hätte, und der zurückgelegte Gleitweg ist

$$2\pi \sqrt{\left(\frac{s}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \pi \sqrt{s^2 + L^2},$$

worin L den Radstand des Wagens bedeutet.

Für den Weg = 1 des Wagens ist der Gleitweg

$$\frac{\pi \sqrt{s^2 + L^2}}{2\pi\varrho} = \frac{\sqrt{s^2 + L^2}}{2\varrho}.$$

Und die geleistete Arbeit $= w_2$:

$$w_2 = f P \cdot \frac{\sqrt{s^2 + L^2}}{2\varrho},$$

$$w_1 + w_2 = f P \cdot \frac{s}{2\varrho} + f P \cdot \frac{\sqrt{s^2 + L^2}}{2\varrho}.$$

Wenn wir $f = \frac{1}{6}$ annehmen, wird

$$w_1 + w_2 = \frac{P}{12\varrho}\left[s + \sqrt{s^2 + L^2}\right].$$

Die nachstehende Tabelle gibt die Werte von $w_1 + w_2$ für Normalspur ($s = 1{,}435$) und gewisse Längen L. Für andere Werte von L finden wir $w_1 + w_2$ durch Zwischenschaltung, oder entnehmen sie aus der graphischen Darstellung (Abb. 1).

Tabelle I. Werte von $w_1 + w_2$ für $P = 1$.

$$w_1 + w_2 = \frac{1}{12\varrho}\left[s + \sqrt{s^2 + L^2}\right]$$

$w_1 + w_2 =$	$\frac{0{,}55}{\varrho}$	$\frac{0{,}50}{\varrho}$	$\frac{0{,}45}{\varrho}$	$\frac{0{,}40}{\varrho}$	$\frac{0{,}35}{\varrho}$	$\frac{0{,}30}{\varrho}$
$L =$	4,96	4,33	3,70	3,04	2,36	1,62
$\varrho =$ 200	2,75	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50
250	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20
300	1,83	1,67	1,50	1,33	1,17	1,00
350	1,57	1,43	1,29	1,14	1,00	0,86
400	1,38	1,25	1,13	1,00	0,88	0,75
500	1,10	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60
600	0,92	0,83	0,75	0,67	0,58	0,50
800	0,69	0,63	0,56	0,50	0,44	0,38
1000	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30

Zu 3. Widerstand w_3, der durch den Richtungsunterschied der Bahnen der einzelnen Wagen entsteht.

Wir bezeichnen mit Z die Kraft an den Zughaken und setzen voraus, daß alle Wagen dieselbe Rahmenform haben.

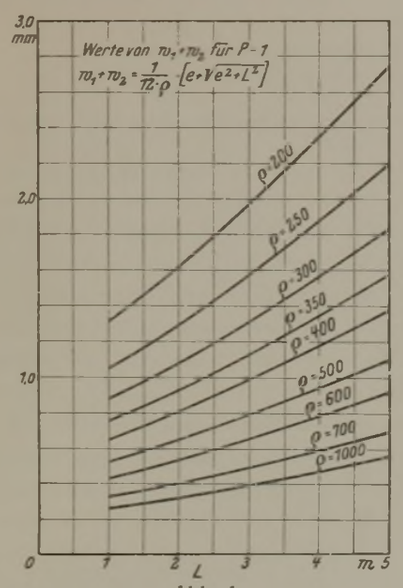


Abb. 1.

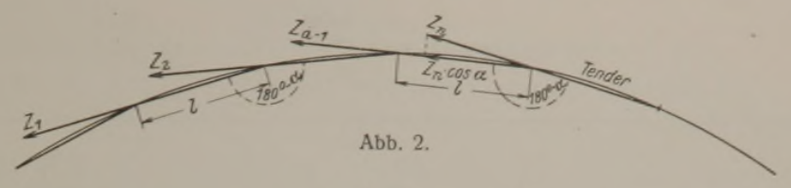


Abb. 2.

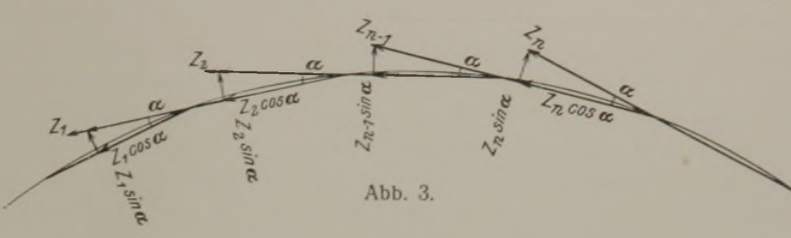


Abb. 3.

Die Länge der Seiten des von den Achsen der Wagen gebildeten Polygons sei l, der Winkel zwischen den Wagenmittellinien sei $180° - \alpha$.

Der Einfachheit halber nehmen wir an, daß der Winkel zwischen den Achsen des Tenders und des benachbarten Wagens ebenfalls $180° - \alpha$ sei. Wir bezeichnen ferner mit $Z_n = Z$ die Kraft, mit der der Zughaken des Tenders den ersten Wagen eines Zuges von n Wagen zieht, Z_{n-1} ist die Kraft, mit der der erste Wagen den zweiten zieht, usf. bis Z_1, der Kraft, mit der der $(n-1)$te Wagen den $n$ten, den letzten zieht.

Die Z sind die Kräfte, die erforderlich sind, um den Zug in gleichförmiger Bewegung zu erhalten, also die Widerstände zu überwinden, die wir für einen Wagen in der Geraden mit W_0 bezeichnen wollen, für einen Wagen in der Kurve mit w. Z_1 zerlegt sich in $Z_1 \cos\alpha$ in der Richtung der Mittellinie des letzten Wagens und in $Z_1 \sin\alpha$ normal zu genannter Achse.

$Z_1 \sin\alpha$ multipliziert mit dem Koeffizienten für gleitende Reibung f ist der Widerstand, den die Komponente $Z_1 \sin\alpha$ erzeugt.

Es besteht mithin die Beziehung

$$W + Z_1 f \sin\alpha = Z_1 \cos\alpha,$$

und wenn wir

$$\cos\alpha - f \sin\alpha = m$$

setzen, wird

$$W = Z_1 \cdot m; \quad Z_1 = \frac{W}{m}.$$

Ebenso gilt

$$(W + Z_1) + Z_2 f \sin\alpha = Z_2 \cos\alpha$$

$$W + Z_1 = Z_2 (\cos\alpha - f \sin\alpha) = Z_2 m$$

$$Z_2 = \frac{Z_1 + W}{m} = \frac{W}{m^2} + \frac{W}{m}.$$

Ferner ist

$$Z_3 = \frac{W}{m^3} + \frac{W}{m^2} + \frac{W}{m}$$

$$Z_n = \frac{W}{m^n} + \frac{W}{m^{n-1}} + \cdots\cdots + \frac{W}{m}$$

$$= \frac{W}{m^n}\left(1 + m + m^2 \cdots\cdots + m^{n-1}\right)$$

$$Z_n = \frac{W}{m^n} \cdot \frac{1 - m^n}{1 - m}.$$

In der geraden Strecke würde dieser Zug aus n Wagen einen Widerstand Z_g erleiden:

$$Z_g = n\, w_0.$$

Das Verhältnis dieser beiden Widerstände ist

$$\frac{Z_n}{Z_g} = \frac{\frac{W}{m^n} \cdot \frac{1 - m^n}{1 - m}}{n\, w_0} = \frac{1 - m^n}{n\, m^n (1 - m)} \cdot \frac{w}{w_0},$$

worin $w_0 = w - (w_1 + w_2)$.

Wenn wir an Stelle von $\frac{1 - m^n}{n\, m^n (1 - m)}$ A setzen, wird

$$\frac{Z_n}{Z_g} = A \cdot \frac{w}{w - (w_1 + w_2)}.$$

Der Kurvenwiderstand erscheint mithin nicht mehr als ein Zuschlag zu den anderen Widerständen, dem Laufwiderstand und dem Steigungswiderstand, sondern er wird erhalten durch Multiplikation dieser beiden Widerstände, vermehrt um die Widerstände $w_1 + w_2$, mit dem Koeffizienten A.

Tabelle II enthält für Normalspur und für Wagen von $l = 10$ m die Werte von A für Züge von 2, 5, 10, 20, 30, 40 und 50 Wagen in Kurven von 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800 und 1000 m Halbmesser, und zwar

1. für den Reibungskoeffizienten $f = \frac{1}{6}$,
2. für den Reibungskoeffizienten $f = \frac{1}{12{,}5}$,

zur Veranschaulichung der Wirkung, die man durch Anwendung von Schmiermitteln gegebenenfalls erzielen kann.

Zwecks praktischer Anwendung des Vorstehenden geben wir in Tabelle III die nach der Frankschen Formel

$$W_I = \left[2{,}5 + 0{,}0142 \left(\frac{V}{10}\right)^2\right] n\, P + 0{,}54\,(2 + n\, F_v)\left(\frac{V}{10}\right)^2$$

berechneten Laufwiderstände für mittlere Güterzüge.

Der Steigungswiderstand wird, wie üblich, gerechnet als $W_{II} = P \operatorname{tg} \beta$, wo β der Steigungswinkel ist.

Beispiel.

Ein Zug von 20 Wagen von $P = 17{,}5$ t, $L = 4{,}00$ m, Stundengeschwindigkeit $V = 35$ km, in Steigung von $18\,^0/_{00}$, $\varrho = 300$ m.

Tabelle II.

Berechnung der Kurvenwiderstände der Eisenbahnzüge.

Werte des Koeffizienten $A = \frac{1 - m^n}{n \cdot m^n (1 - m)}$.

Anzahl der Wagen = n	Halbmesser = 200		Halbmesser = 250		Halbmesser = 300	
	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$
1	1,010	1,005	1,008	1,004	1,006	1,003
2	1,014	1,011	1,010	1,008	1,009	1,006
5	1,028	1,016	1,022	1,013	1,019	1,010
10	1,055	1,030	1,043	1,023	1,034	1,017
20	1,108	1,057	1,085	1,046	1,067	1,038
30	1,165	1,086	1,129	1,068	1,101	1,051
40	1,226	1,116	1,175	1,103	1,137	1,069
50	1,291	1,147	1,224	1,115	1,180	1,087

Anzahl der Wagen = n	Halbmesser = 350		Halbmesser = 400		Halbmesser = 500	
	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$
1	1,005	1,003	1,004	1,002	1,004	1,002
2	1,008	1,006	1,007	1,005	1,007	1,004
5	1,016	1,008	1,013	1,007	1,011	1,005
10	1,029	1,015	1,025	1,013	1,021	1,010
20	1,057	1,028	1,047	1,024	1,039	1,019
30	1,085	1,043	1,071	1,036	1,059	1,028
40	1,114	1,058	1,095	1,048	1,080	1,038
50	1,145	1,072	1,121	1,060	1,100	1,048

Anzahl der Wagen = n	Halbmesser = 600		Halbmesser = 800		Halbmess. = 1000 m	
	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$	$f = \frac{1}{6}$	$f = \frac{1}{12{,}5}$
1	1,003	1,001	1,002	1,001	1,002	1,001
2	1,006	1,003	1,004	1,002	1,003	1,002
5	1,009	1,005	1,007	1,003	1,005	1,002
10	1,016	1,008	1,012	1,005	1,009	1,005
20	1,031	1,015	1,023	1,012	1,018	1,009
30	1,047	1,023	1,035	1,017	1,027	1,013
40	1,062	1,031	1,046	1,022	1,036	1,017
50	1,078	1,039	1,057	1,028	1,045	1,022

Tabelle III

über Laufwiderstände von Güterzügen (ohne Lokomotiven und Tender)

auf Grund der Frankschen Formel $W_I = \left[2{,}5 + 0{,}0142\left(\frac{V}{10}\right)^2\right] n\,P + 0{,}54\,(2 + n\,F_v)\left(\frac{V}{10}\right)^2$.

$n =$	5				10				20				30				40				50			
$P =$	10 t	20 t	25 t	30 t	10 t	20 t	25 t	30 t	10 t	20 t	25 t	30 t	10 t	20 t	25 t	30 t	10 t	20 t	25 t	30 t	10 t	20 t	25 t	30 t
$V = 20$	2,807	2,682	2,657	2,640	2,764	2,661	2,640	2,626	2,743	2,650	2,631	2,619	2,735	2,646	2,628	2,616	2,732	2,644	2,627	2,615	2,730	2,643	2,626	2,614
25	2,980	2,785	2,745	2,719	2,913	2,751	2,718	2,697	2,879	2,734	2,705	2,685	2,868	2,728	2,700	2,682	2,862	2,725	2,698	2,680	2,859	2,724	2,697	2,679
30	3,192	2,910	2,853	2,816	3,094	2,861	2,814	2,783	3,046	2,837	2,795	2,767	3,030	2,829	2,789	2,762	3,022	2,825	2,785	2,759	3,017	2,822	2,783	2,757
35	3,441	3,058	2,981	2,930	3,309	2,991	2,928	2,886	3,243	2,958	2,902	2,864	3,221	2,947	2,893	2,856	3,210	2,942	2,888	2,853	3,203	2,939	2,886	2,850
40	3,730	3,228	3,128	3,061	3,557	3,142	3,059	3,004	3,470	3,099	3,024	2,975	3,441	3,084	3,013	2,965	3,427	3,077	3,007	2,960	3,418	3,073	3,004	2,958
45	4,056	3,422	3,295	3,210	3,837	3,312	3,207	3,137	3,728	3,258	3,164	3,101	3,692	3,240	3,149	3,089	3,673	3,230	3,142	3,083	3,662	3,225	3,137	3,079
50	4,421	3,638	3,481	3,377	4,151	3,503	3,373	3,287	4,016	3,436	3,319	3,242	3,971	3,413	3,301	3,227	3,949	3,402	3,293	3,219	3,935	3,395	3,287	3,215
55	4,825	3,877	3,688	3,561	4,498	3,714	3,557	3,452	4,334	3,632	3,492	3,398	4,280	3,605	3,470	3,380	4,253	3,591	3,459	3,371	4,236	3,583	3,452	3,365
60	5,266	4,139	3,913	3,763	4,877	3,944	3,758	3,633	4,683	3,847	3,680	3,568	4,618	3,815	3,654	3,547	4,586	3,799	3,641	3,536	4,566	3,789	3,633	3,530
65	5,747	4,423	4,159	3,982	5,290	4,195	3,976	3,830	5,062	4,081	3,885	3,754	4,986	4,043	3,854	3,729	4,948	4,024	3,839	3,716	4,925	4,013	3,830	3,708
70	6,265	4,730	4,424	4,219	5,736	4,466	4,212	4,043	5,471	4,334	4,106	3,954	5,383	4,290	4,071	3,925	5,339	4,267	4,053	3,910	5,313	4,254	4,043	3,901
75	6,822	5,061	4,708	4,473	6,215	4,757	4,465	4,271	5,911	4,605	4,344	4,169	5,810	4,554	4,303	4,136	5,759	4,529	4,283	4,119	5,729	4,514	4,271	4,109
80	7,418	5,413	5,012	4,745	6,727	5,068	4,736	4,515	6,381	4,895	4,598	4,400	6,266	4,837	4,552	4,361	6,208	4,809	4,529	4,342	6,174	4,791	4,515	4,330

V = Geschwindigkeit in km/h, n = Anzahl der Wagen, P = Bruttogewicht der Wagen, W_I in ‰,
F_v = mittlere, den Widerstand der Luft erleidende Fläche eines jeden Güterwagens; im obigen Beispiel $F_v = 0{,}76$ m².
Die Formel trägt dem etwaigen Winde keine Rechnung.

Nach Tabelle III ist $W_I \ldots\ldots = \frac{3{,}243 + 3 \cdot 2{,}958}{4} = 3{,}029$
$W_{II} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 18{,}000$ } 21,029

nach Tabelle I ist $w_1 + w_2 = 1{,}50 + \frac{30}{63} \cdot (1{,}67 - 1{,}50) = 1{,}581$
$W = 22{,}610$

Nach Tabelle II ist $A = 1{,}067$, mithin $\Sigma W = 22{,}610 \cdot 1{,}067 = 24{,}125$
In der Geraden, in der Steigung war $W_I + W_{II} \ldots\ldots = 21{,}029$
mithin kommt auf Rechnung der Kurve ..... 3,1 mm.

Auf derselben Bahnstrecke würde ein Zug von gleicher Bruttolast, die aber auf 40 Wagen von 8,75 t verteilt wäre, folgende Widerstände erleiden:

Nach Tabelle III ist $W_I = 3{,}210 + \frac{1{,}25}{10}(3{,}210 - 2{,}942) = 3{,}234$
$W_{II} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 18{,}000$
$21{,}234$

Nach Tabelle I ist $w_1 + w_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 1{,}581$
$22{,}815$

Nach Tabelle II ist $A = 1{,}137$, $W = 22{,}815 \cdot 1{,}137 = 25{,}941$
$W_1 + W_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 21{,}234$
mithin entspricht der Kurvenwiderstand ..... 4,71 mm.

Fall B.

Die Lokomotive, der Tender und ein Teil der Wagen befinden sich in der Kurve, der Rest der Wagen ist noch in der Geraden.

Von den n Wagen des Zuges sind noch a Wagen in der geraden Strecke, b Wagen sind bereits in der Kurve; $n = a + b$.

Es gilt dann

$$Z_a \cos\frac{\alpha}{2} = Z_a f \sin\frac{\alpha}{2} + a\,[w - (w_1 + w_2)].$$

Wenn wie oben $m = \cos\alpha - f\sin\alpha$ ist und wir mit hinreichender Genauigkeit für den kleinen Winkel α setzen $\cos\alpha = \cos\frac{\alpha}{2}$,

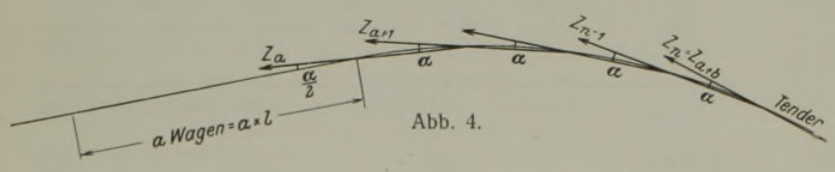


Abb. 4.

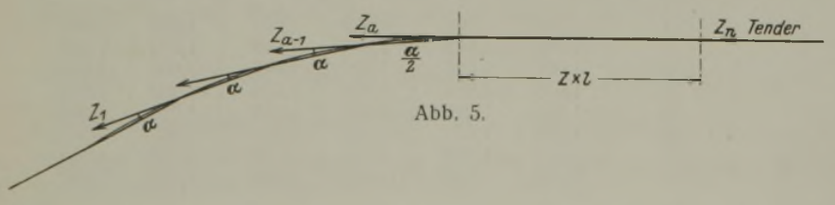


Abb. 5.

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \cdot \sin\alpha = \frac{l}{2\varrho},$$

so nimmt die Formel für Z_a folgende Form an:

$$Z_a\left(\cos\alpha - f \cdot \frac{l}{2\varrho}\right) = a\,[w - (w_1 + w_2)]$$

$$Z_a\left(m + f \cdot \frac{l}{2\varrho}\right) = a\,[w - (w_1 + w_2)]$$

$$Z_a = \frac{a\,[w - (w_1 + w_2)]}{m + \frac{f\,l}{2\varrho}}$$

$$Z_{a+1}\cos\alpha = Z_{a+1} f \sin\alpha + W + Z_a$$

$$Z_{a+1}(\cos\alpha - f\sin\alpha) = W + Z_a$$

$$Z_{a+1} = \frac{W}{m} + \frac{a\,[w - (w_1 + w_2)]}{m\left[m + \frac{f\,l}{2\varrho}\right]}$$

$$Z_{a+2}\cos\alpha = Z_{a+2} f \sin\alpha + W + Z_{a+1}$$

$$Z_{a+2} = \frac{W}{m} + \frac{Z_{a+1}}{m} = \frac{W}{m} + \frac{W}{m^2} + \frac{a\,[w - (w_1 + w_2)]}{m^2\left(m + \frac{f\,l}{2\varrho}\right)}$$

— — — — — — — — — — — — — — — — — —

$$Z_n = Z_{a+b} = \frac{W}{m} + \frac{W}{m^2} + \ldots\ldots + \frac{W}{m^b} + \frac{a\,[w - (w_1 + w_2)]}{m^b\left(m + \frac{f\,l}{2\varrho}\right)}$$

$$Z_n = \frac{W}{m^b} \cdot \frac{1 - m^b}{1 - m} + \frac{a\,[w - (w_1 + w_2)]}{m^b\left(m + \frac{f\,l}{2\varrho}\right)}.$$

Fall C.

Die Lokomotive, der Tender und die ersten b Wagen sind bereits wieder in der Geraden, nur die letzten a Wagen sind noch in der Kurve, auf die Länge $a \times l$. — Aus der Formel für den Fall A ergibt sich

$$Z_{a-1} = \frac{W}{m^{a-1}} \cdot \frac{1 - m^{a-1}}{1 - m}$$

$$Z_a \cos\frac{\alpha}{2} = Z_a f \sin\frac{\alpha}{2} + W + Z_{a-1}$$

$$Z_a\left(\cos\frac{\alpha}{2} - f\sin\frac{\alpha}{2}\right) = Z_a\left(m + \frac{f\,l}{2\varrho}\right) = W + Z_{a-1}$$

$$Z_a = \frac{1}{m + \frac{f\,l}{2\varrho}} \cdot \left[W + \frac{W}{m^{a-1}} \cdot \frac{1 - m^{a-1}}{1 - m}\right]$$

$$Z_a = \frac{W}{m + \frac{f\,l}{2\varrho}} \cdot \left[1 + \frac{1}{m^{a-1}} \cdot \frac{1 - m^{a-1}}{1 - m}\right]$$

$$Z_n = \frac{W}{m + \frac{f\,l}{2\varrho}} \cdot \left[1 + \frac{1}{m^{a-1}} \cdot \frac{1 - m^{a-1}}{1 - m}\right] + b\,[w - (w_1 + w_2)].$$

Tabelle IV.

$$\text{Widerstand } Z_n = \frac{W(1-m^b)}{m^b(1-m)} + \frac{a\,[w-(w_1+w_2)]}{m^{b+1}},$$

berechnet für $n = 30 = a + b$, $P = 15$, $V = 35$ km/h, $l = 10{,}0$, $L = 4{,}0$, i = Steigung in ‰.

Kurvenlänge	Anzahl der Wagen in der Kurve	Widerstand Z_n in Kurven vom Halbmesser								
m	b	$\varrho = 200$	250	300	350	400	500	600	800	1000 m
20	2	$3{,}338 + 1{,}030\,i$	$3{,}281 + 1{,}022\,i$	$3{,}260 + 1{,}022\,i$	$3{,}222 + 1{,}015\,i$	$3{,}203 + 1{,}013\,i$	$3{,}181 + 1{,}011\,i$	$3{,}164 + 1{,}009\,i$	$3{,}143 + 1{,}006\,i$	$3{,}137 + 1{,}005\,i$
40	4	$3{,}553 + 1{,}047\,i$	$3{,}454 + 1{,}036\,i$	$3{,}410 + 1{,}036\,i$	$3{,}350 + 1{,}025\,i$	$3{,}308 + 1{,}021\,i$	$3{,}266 + 1{,}018\,i$	$3{,}233 + 1{,}014\,i$	$3{,}195 + 1{,}010\,i$	$3{,}172 + 1{,}008\,i$
80	8	$3{,}953 + 1{,}078\,i$	$3{,}799 + 1{,}062\,i$	$3{,}699 + 1{,}060\,i$	$3{,}583 + 1{,}041\,i$	$3{,}515 + 1{,}035\,i$	$3{,}432 + 1{,}029\,i$	$3{,}368 + 1{,}023\,i$	$3{,}297 + 1{,}017\,i$	$3{,}253 + 1{,}013\,i$
120	12	$4{,}425 + 1{,}106\,i$	$4{,}140 + 1{,}083\,i$	$3{,}989 + 1{,}079\,i$	$3{,}819 + 1{,}056\,i$	$3{,}718 + 1{,}046\,i$	$3{,}595 + 1{,}040\,i$	$3{,}501 + 1{,}031\,i$	$3{,}395 + 1{,}023\,i$	$3{,}331 + 1{,}018\,i$
160	16	$4{,}860 + 1{,}129\,i$	$4{,}479 + 1{,}101\,i$	$4{,}264 + 1{,}094\,i$	$4{,}051 + 1{,}068\,i$	$3{,}916 + 1{,}056\,i$	$3{,}753 + 1{,}047\,i$	$3{,}630 + 1{,}037\,i$	$3{,}493 + 1{,}028\,i$	$3{,}407 + 1{,}021\,i$
200	20	$5{,}291 + 1{,}148\,i$	$4{,}813 + 1{,}115\,i$	$4{,}529 + 1{,}103\,i$	$4{,}278 + 1{,}076\,i$	$4{,}110 + 1{,}063\,i$	$3{,}905 + 1{,}053\,i$	$3{,}756 + 1{,}042\,i$	$3{,}585 + 1{,}031\,i$	$3{,}461 + 1{,}024\,i$
240	24	$5{,}724 + 1{,}159\,i$	$5{,}145 + 1{,}125\,i$	$4{,}785 + 1{,}107\,i$	$4{,}499 + 1{,}082\,i$	$4{,}302 + 1{,}069\,i$	$4{,}055 + 1{,}057\,i$	$3{,}877 + 1{,}045\,i$	$3{,}677 + 1{,}034\,i$	$3{,}554 + 1{,}026\,i$
280	28	$6{,}152 + 1{,}165\,i$	$5{,}367 + 1{,}129\,i$	$5{,}024 + 1{,}104\,i$	$4{,}714 + 1{,}085\,i$	$4{,}486 + 1{,}071\,i$	$4{,}151 + 1{,}059\,i$	$3{,}999 + 1{,}047\,i$	$3{,}766 + 1{,}035\,i$	$3{,}621 + 1{,}027\,i$

Da Z_n im Falle B größere Werte ergibt als im Falle C, wollen wir letzteren nicht weiter betrachten, sondern zum Falle B zurückkehren. Der Wert von Z_n im Falle B war

$$Z_n = \frac{W}{m^b} \cdot \frac{1-m^b}{1-m} + \frac{a\,[w-(w_1+w_2)]}{m^b\left(m + \frac{f\,l}{2\,\varrho}\right)}.$$

Diese Formel ist wichtig, weil sie den höchsten Gesamtwiderstand eines Zuges in einer Kurve von der Länge $b \times l$ angibt, die gleich ist oder kürzer als der Zug.

Wenn wir berücksichtigen, daß f ein Bruch (meist $= 1/6$), ϱ bei Hauptbahnen $\geqq 300$, $l \approx 10$ m ist, so dürfen wir, ohne den durch die anderen Annahmen qualifizierten Genauigkeitsgrad zu beeinträchtigen, das Glied $\frac{f\,l}{2\,\varrho}$ vernachlässigen, so daß die Gleichung für Z_n schließlich die Form annimmt:

$$Z_n = \frac{W}{m^b} \cdot \frac{1-m^b}{1-m} + \frac{a\,[w-(w_1+w_2)]}{m^{b+1}}.$$

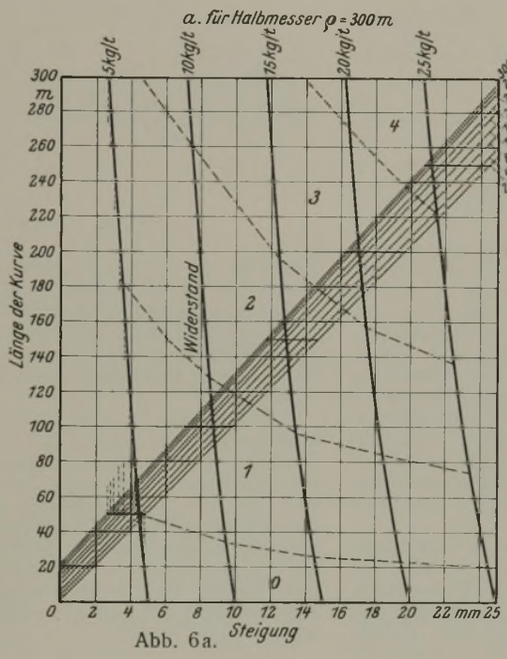


Abb. 6a.

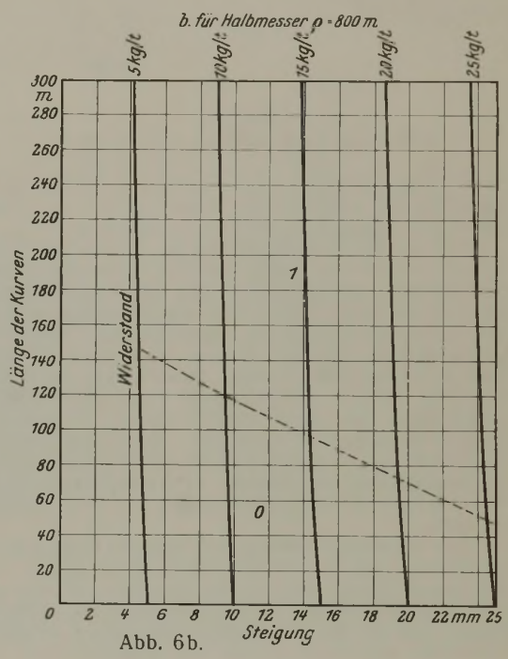


Abb. 6b.

In Tabelle IV sind die Werte des Gesamtwiderstandes in ‰ gegeben für den Zug, der im gebirgigen Gelände wohl als der schwerste vorkommende anzusehen ist:

30 Wagen von je 15 t Bruttolast, $V = 35$ km/h, $l = 10$ m. $L = 4{,}0$; $R_I = 3{,}084$, $R_{II} = i$, und zwar für die Halbmesser von 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800 und 1000 m.

Die graphische Auswertung dieser Tabelle liefern uns Abb. 6a u. b, auf denen — unter den angenommenen Bedingungen — für die Halbmesser 300 und 800 durch Kurven die Abhängigkeit dargestellt ist, die zwischen den Längen der Bogen, der Steigung und dem Gesamtwiderstande besteht, soweit letzterer den als etwas Unveränderliches angesehenen Laufwiderstand überschreitet.

Zum Vergleich der vorstehend entwickelten Widerstandswerte mit den bisher gebräuchlichen sind in Abb. 6a u. b die Zonen gleichen Kurvenwiderstandes durch gestrichelte Linien dargestellt worden. Nach der vielfach angewandten Formel $w = \frac{650}{\varrho - 60}$ ergibt sich z. B. für $\varrho = 300$, $w = 2{,}71$ ‰, während die graphische Darstellung uns zeigt, daß der Kurvenwiderstand z. B. bei Steigungen von 15, 20 oder 25 mm, diese Größe 2,71 ‰ erst für Kurvenlängen von 210, 175 bzw. 150 m erreicht.

Alle Rechte vorbehalten.

Das Rheinkraftwerk Kembs.

Durch den Ausbau der Kembser Stufe wird bekanntlich das bedeutendste Schiffahrthindernis zwischen Straßburg und Basel, die Isteiner Schwelle, beseitigt, die durch einen gleichzeitig auch der Wasserkraftausnutzung dienenden Kanal umgangen wird. Die auf diese Weise gewonnene Kraftleistung von 33 000 PS soll die Aufwendungen für die Schiffahrt bezahlt machen. Die Wasserausleitung geschieht etwa 5 km unterhalb Basel (Abb. 1). Der Rhein wird hier durch ein Wehr bei MW um etwa 7 m gehoben, so daß der Stauspiegel bis zur Mündung der Birse hinaufreicht, also auch noch die Stadt Basel in Mitleidenschaft zieht. Der Einfluß auf das dortige städtische Kanalnetz wie auch auf die Grundwasserstandsverhältnisse macht besondere Anpassungsarbeiten notwendig, wofür das Einverständnis der Schweiz eingeholt wurde. Um den Hochwasserabfluß möglichst wenig zu stören, bildet man das Stau-

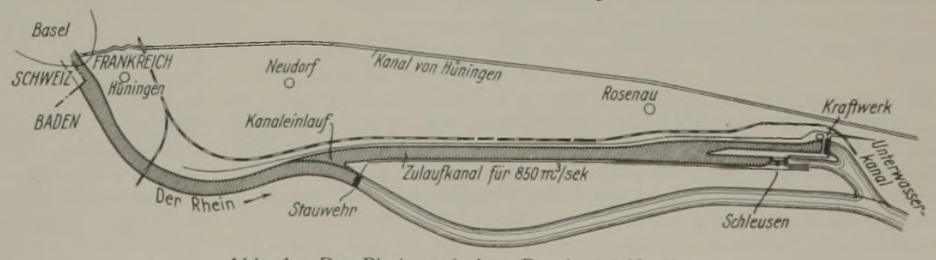


Abb. 1. Der Rhein zwischen Basel und Kembs.

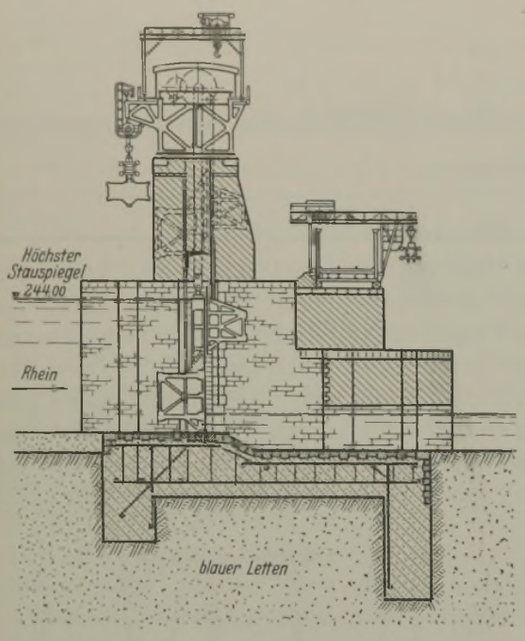


Abb. 2.
Querschnitt durch das Stauwehr im Rhein.

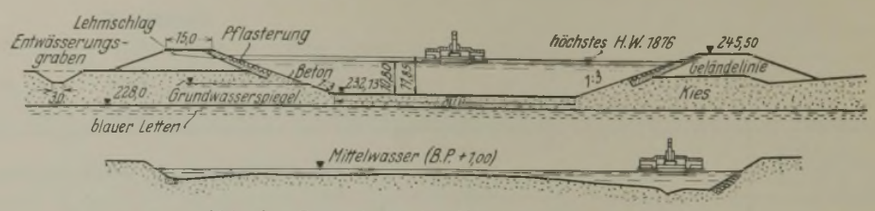


Abb. 3. Querschnitt des Kembser Werkkanals.

wehr als bewegliches Schützenwehr aus und läßt die Wehrschwelle sohlengleich mit dem Flußbett abschneiden (Abbildung 2). Es kommen Stoney-Doppelschützen zur Anwendung, um die obere Schützentafel bei Treibeisgang und die untere für den Geschiebeabtrieb in Bewegung zu setzen. Die Strombreite wird in fünf Wehröffnungen von je 30 m Breite aufgeteilt. Der Wehrkörper selbst wird mittels Luftdruckgründung auf festgelagerten, blauen Letten, der schon in geringer Tiefe unter dem Flußbett anzutreffen ist, aufgesetzt.

Der in den Alluvialschotter der rheinischen Tiefebene eingegrabene Oberwasserkanal erhält das Profil von Abb. 3 und ist im Interesse der Schiffahrt so bemessen, daß die Geschwindigkeit von 0,70 m/sek nicht überschritten wird. Den Kanalböschungen wird, soweit sie über den Grundwasserspiegel zu liegen kommen, eine Betonverkleidung oder Lettendichtung gegeben, die zum Schutze vor Wellenschlag und Eistrieb auch noch abgepflastert wird. Sickerwasser, das trotz dieser Abdichtung den Weg durch den Dammkörper findet, wird rechts vom Rhein selbst aufgefangen, links durch einen in einiger Entfernung vom Dammfuß angelegten Abflußgraben abgeleitet. Die Kanaldämme werden beiderseits im Verhältnis 1:3 geböscht und erhalten eine Kronenbreite von 15 m. Es handelt sich um Dämme von ansehnlicher Höhe; liegt doch der Wasserspiegel des Oberwasserkanals vor dem Krafthause 9 m über dem Gelände.

Das Krafthaus selbst ist, um die Aushubmassen für den Unterwasserkanal auf ein Mindestmaß zu beschränken, so nahe an das Bett des Rheins gelegt, als es die Rücksicht auf den ungehinderten Hochwasserabfluß gestattet. Sechs Turbinen mit stehender Welle werden eingebaut, auf die die Generatoren aufmontiert werden (Abb. 4). Da die

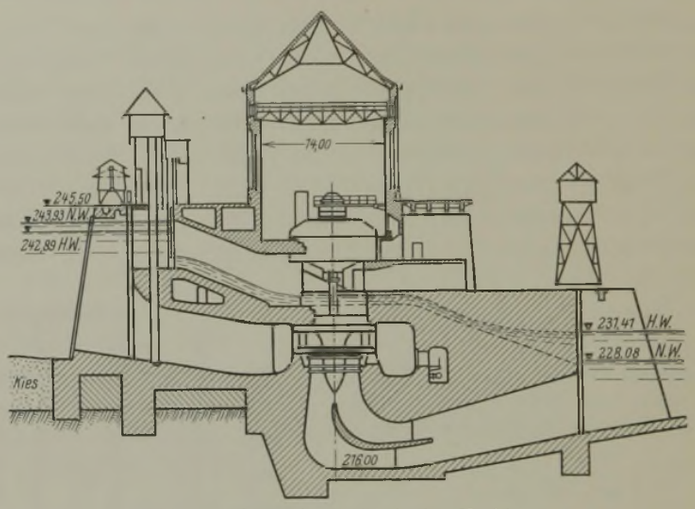


Abb. 4. Querschnitt durch das Krafthaus.

Kraftwerke des „Grand Canal d'Alsace" unabhängig voneinander arbeiten sollen, ist für den Fall, daß eine oder mehrere Turbineneinheiten ausfallen, eine Einrichtung geschaffen worden, um die entsprechende Wassermenge kanalabwärts schicken zu können. Unmittelbar oberhalb eines jeden Turbineneinlaufs ist nämlich ein durch eine Schütze abschließbarer Leerlaufkanal angeordnet, durch den auch Treibeis unschädlich abgeführt werden kann.

Entlang des Dammes zwischen Kraftkanal und Schiffahrtkanal wird eine Schiffschleuse von 185 m Länge und 25 m Breite errichtet. Diese Ausmaße sind für einen Schiffzug, bestehend aus einem Schlepper und zwei Anhängern, berechnet. Das Durchschleusen wird einschließlich der Zeit für Ein- und Ausfahren aus der Schleusenkammer 30 min beanspruchen. Daneben bleibt noch Raum frei für eine zweite Schleuse von 100 m Länge und 25 m Breite für den Fall, daß der zunehmende Verkehr eine solche erforderlich machen sollte. Schleusen wie Turbinenhaus werden bis auf die wasserundurchlässige Lettenschicht gegründet. Eine Dichtung des Kanals unterhalb der Schleusentreppen wird nicht für nötig erachtet. Pickl.

Schleuse ohne Wasserverbrauch mit schwimmenden luftbetriebenen Aufnahmebecken.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Prof. **H. Proetel**, Aachen.

Vorschläge für eine Schleuse der vorbenannten Art sind vom Verfasser bereits im Jahre 1924 einigen Interessenten unterbreitet worden. Obwohl eine zusammenfassende Veröffentlichung bisher unterblieben ist, wurde die Bauart schon mehrfach in der Literatur erörtert, so in dem Werke „Der Verkehrswasserbau" von Prof. O. Franzius, in einigen Besprechungen dieses Werkes und neuerdings in der Arbeit von Prof. Rothmund über Schleusen ohne Wasserverbrauch, vgl. „Die Bautechnik" 1929, Hefte 20, 23 u. 27. Eine richtige Darstellung über die oben bezeichnete Schleuse dürfte daher von Interesse sein, um so mehr, als jetzt die technische und wirtschaftliche Durchbildung der Banart ausgereift ist.

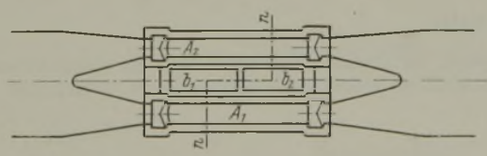


Abb. 1. Grundriß einer Doppelschleuse.

Der Grundgedanke der Bauart besteht darin, daß nach Abb. 1, 2 u. 3 das Wasser aus zwei festen Kammern A_1 und A_2 mit gleicher Grundfläche und gleicher Höhe, von denen eine oder beide als Schleusenkammer ausgebildet werden können, in schwimmende Behälter (Aufnahmebecken) b_1 und b_2 und zurück geleitet wird; die Behälter haben mehrere übereinanderliegende Kammern, und zwar mindestens zwei. In Abb. 2 sind Behälter mit zwei Kammern O und S, in Abb. 3 mit drei Kammern O, S und D dargestellt. Die Kammern O sind gelüftet und stehen mit den beiden festen Kammern A_1 und A_2 in kommunizierender Verbindung; mittels der Schütze c_1 und c_2 wird die Verbindung jeweils nur nach einer der

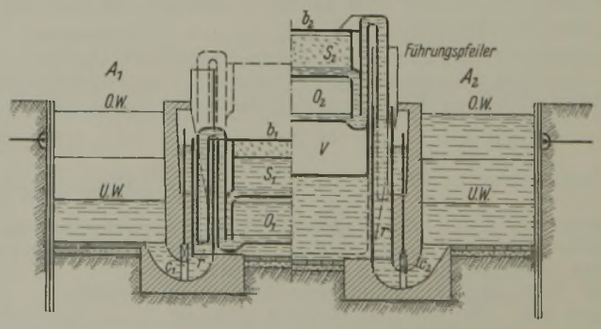


Abb. 2. Querschnitt n—n einer Doppelschleuse.

festen Kammern offengehalten, nach der anderen abgeschlossen. Bei Bewegung des Aufnahmebeckens bleiben die offenen Kammern O mit der angeschlossenen Schleusenkammer ausgespiegelt, die anderen Kammern werden durch Verwendung von verdünnter oder verdichteter Luft gleichgängig mit der offenen Kammer gefüllt und entleert. Es ist einleuchtend, daß ein zunächst gewichtslos und mit unendlich dünnen Wänden gedachter Behälter von unveränderlichem waagerechten Quer-

schnitt dann stets im Gleichgewicht sein muß, wenn er in höchster Stellung ganz ausgetaucht und geleert, in tiefster Stellung ganz eingetaucht und gefüllt ist, und wenn die Füllung und Entleerung entsprechend der Bewegung aus der höchsten in die tiefste Stellung und umgekehrt gleichgängig stattfindet. Der Wasserstand in der Schwimmgrube, in der der Behälter ein- und austaucht, muß unverändert bleiben.

Diese Bedingungen lassen sich am besten dadurch erfüllen, daß zwei zylindrische oder prismatische Aufnahmebecken b_1 und b_2 von gleichem waagerechten Querschnitt abwechselnd für zwei Schleusenkammern A_1 und A_2 verwendet werden, von denen das eine in demselben Maße eintaucht wie das andere austaucht. Dann bleibt der Wasserspiegel in der Schwimmgrube unverändert; ferner werden die Kammern des einen Beckens in demselben Maße gefüllt, wie die Kammern des anderen Beckens geleert werden. Damit der Rauminhalt der Becken möglichst klein wird und damit beide, wenn auch nacheinander, auf dieselbe Schleusenkammer wirken können, wird der Inhalt der Schleusenkammer in eine obere und eine untere Hälfte geteilt; jeder Hälfte wird ein Aufnahmebecken zugewiesen. Daraus folgt, daß die Zonen, in denen sich die beiden Becken bewegen, um die halbe Höhe des Schleusengefälles gegeneinander versetzt sein müssen. Das läßt sich dadurch leicht erreichen, daß unter dem für den oberen Teil der Schleusenkammer bestimmten Becken b_2 ein Verdränger V angebracht wird.

Das Eigengewicht der Becken wird, ohne besondere Schwimmkammern unter den Böden, dadurch ausgeglichen, daß der Wasserspiegel der Schwimmgrube um ein passendes Maß gehoben wird. Dadurch wird eine entsprechende Erhöhung der Kammer S_1 des niedrigen Beckens b_1 erforderlich, jedoch ohne neue Decke. Durch zweckmäßige Wahl des Verhältnisses zwischen Beckenhöhe und Beckenquerschnitt läßt sich erreichen, daß die Becken, unabhängig vom Ein- und Austauchen der Wandstärken und Verbindungsleitungen, in jeder Lage genau im Gleichgewicht sind.

Die Vorgänge beim Füllen der Schleusenkammer A_1 und Entleeren der Schleusenkammer A_2 sind wie folgt (Abb. 2). Zuerst ist durch entsprechende Stellung der Schütze c_1 und c_2 Becken b_1 mit A_1 und b_2 mit A_2 verbunden. Wird jetzt b_1 gehoben und b_2 gesenkt, so wird Schleusenkammer A_1 zur Hälfte gefüllt und A_2 zur Hälfte entleert. Jetzt wird b_2 mit A_1 und b_1 mit A_2 verbunden, dann wird b_1 wieder gesenkt und b_2 wieder gehoben; dadurch wird Schleusenkammer A_1 ganz gefüllt und A_2 ganz entleert.

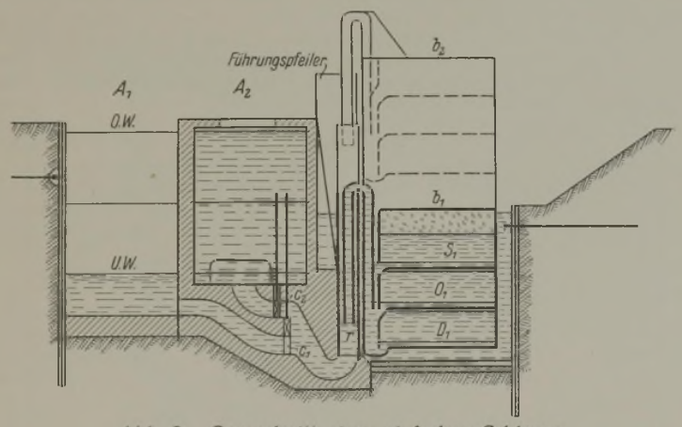


Abb. 3. Querschnitt einer einfachen Schleuse.

Die Anordnung kann am einfachsten für eine Doppelschleuse nach Abb. 2, aber auch für eine einfache Schleuse nach Abb. 3 ausgebildet werden. In Abb. 2 sind die beiden Aufnahmebecken nur in halber Breite nebeneinander dargestellt, indem der Querschnitt nach der gebrochenen Linie n—n in Abb. 1 verläuft; in Abb. 3 ist ein ebener Querschnitt durch die ganze Schleusenanlage dargestellt, daher erscheint das Becken b_1 in ganzer Breite geschnitten, während b_2 dahinter liegt.

Es ist klar, daß der Gesamtluftraum zweier zusammengehöriger Beckenkammern (S_1 und S_2 sowie D_1 und D_2), wenn sich diese gleichmäßig aber entgegengesetzt füllen und entleeren, unverändert bleibt. Man braucht also, um das gleichmäßige Füllen und Entleeren der Kammern S_1 und S_2 mit den offenen Kammern O_1 und O_2 zu sichern, nur die Kammern S_1 und S_2 durch ein von den Decken ausgehendes Rohr zu verbinden und den Luftdruck in den Kammern S_1 und S_2 so zu vermindern, daß in diesen Kammern das Wasser um eine Kammerhöhe angesaugt wird. In gleicher Weise kann man die Kammern D_1 und D_2 mittels verdichteter Luft füllen und entleeren.

Für die praktische Ausführung ist eine einwandfreie Verbindung der beweglichen Behälter b_1, b_2 mit den Schleusenkammern A_1, A_2 zum Überführen des Wassers und der Lufträume der Kammern S_1 und S_2 bzw. D_1 und D_2 zum Überführen der Luft von größter Bedeutung. Die Leitungen müssen völlig dicht sein; diejenigen für Wasser müssen einen großen Querschnitt haben, weil man nur Wassergeschwindigkeiten bis zu 1,2 m/sek zulassen darf, wenn die Überlaufdruckhöhe und damit der Bewegungswiderstand der Becken gering bleiben sollen. Um diese Forderungen zu erfüllen, sollen alle Verbindungsleitungen ohne Verwendung schleifender oder sich drehender Dichtungen hergestellt werden. Bei der Wasserüberführung werden frei eintauchende Heber, bei der Luftüberführung frei mit Spielraum ineinander bewegliche Rohre verwendet. Bei der Wasserüberleitung bedarf es so lange keiner weiteren Dichtung, als nach Abb. 2 und 3 die zur Schleusenkammer führenden Rohre r, in die die Heber eintauchen, bis über den höchsten Wasserspiegel reichen können. Dies ist aber durch die Saughöhe der Heber, etwa 7,5 m, begrenzt. Die Anordnung ist noch ausführbar mit zweikammerigen Aufnahmebecken b_1 und b_2 für Schleusengefälle bis zu 8 m, mit dreikammerigen Aufnahmebecken für Gefälle bis zu 12 m. Aber auch für unbegrenzte Gefälle kann die Heberüberleitung benutzt werden, wenn man nach Abb. 4 den eintauchenden Heberschenkel mit einer Haube k umgibt, die über das Rohr r gestülpt wird, und durch Einblasen von Preßluft den Wasserstand zu beiden Seiten des Rohres r so weit senkt, daß das Wasser aus der Schwimmgrube in die Schleusenkammer oder umgekehrt nicht überlaufen kann. Bei tiefster Stellung des Aufnahmebeckens wird, wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, der Wasserstand unter der Haube um das Maß h, bei höchster Stellung um das Maß h' gesenkt. Die Preßluft wird natürlich nicht verbraucht.

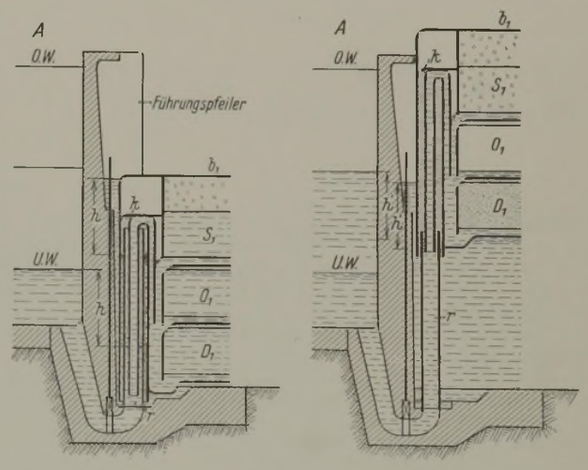
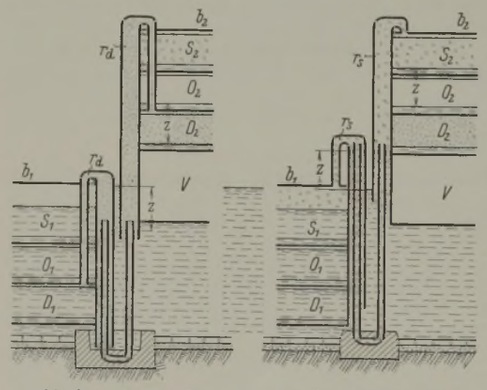


Abb. 4. Wasserüberleitung bei großem Gefälle.

Die Überleitung der verdünnten und verdichteten Luft geschieht nach Abb. 5. Zur Abdichtung der ineinander beweglichen Rohre wird am einfachsten das Wasser der Schwimmgrube benutzt. Es ist nur erforderlich, daß die aus den Beckenkammern S_2 bzw. D_2 kommenden Rohre r_s und r_d tief genug unter Wasser reichen. Beim Überleiten der verdünnten Luft steigt das Wasser in dem äußeren, von der Kammer S_2 kommenden Rohr r_s um das Maß z, das einer Kammerhöhe in den Aufnahmebecken entspricht, beim Überleiten der verdichteten Luft wird es um das gleiche Maß z gesenkt.



b) Anordnung für verdichtete Luft. a) Anordnung für verdünnte Luft.

Abb. 5. Luftüberleitung.

Es wird somit ein völlig dichter Wasserverschluß für die Luftüberleitung gebildet.

Die Bewegung der Becken wird am einfachsten durch Belastung und Entlastung mit Wasserballast herbeigeführt. Zu diesem Zweck wird mit Hilfe von Preßluft eine Wassermenge in kürzester Zeit von einem kleinen Tank eines Beckens zu einem entsprechenden Tank des anderen Beckens gedrückt. (Die Tanks sind in den Abbildungen nicht dargestellt.) Die Bewegung wird durch eine sehr einfache Druckwasserbremse genau begrenzt. Schwankungen des Oberwassers oder Unterwassers können durch verschiedene Füllung der Aufnahmebecken vollkommen ausgeglichen

werden, wenn gleichzeitig die Höhenlage der beiden Becken gegeneinander verändert wird. Dies geschieht einfach durch Ein- und Auslassen von Wasser in den und aus dem Verdrängerraum V.

Die technische Ausführung der Schleuse mit schwimmenden luftbetriebenen Aufnahmebecken erfordert also keine außergewöhnlichen Maßnahmen. Wie sich ihre Wirtschaftlichkeit etwa gestaltet, sei in aller Kürze nachgewiesen an dem Beispiel einer Doppelschleuse von 9 m Gefälle mit den Abmessungen der Schleppzugschleusen des Mittellandkanals, nämlich 225 m nutzbarer Kammerlänge und 12 m nutzbarer Kammerbreite. Wird die Schleuse als gewöhnliche Schleuse mit offenen Sparbecken ausgeführt, so können mit drei Sparbecken mit 1,6 fachem Kammergrundriß $\frac{3 \cdot 1{,}6}{(3+1) \cdot 1{,}6 + 1} = 0{,}65$ Kammerteile erspart werden, also verbleibt ein Wasserverbrauch von 35 % der Kammerfüllung. Bei jährlich 8000 Schleusungen und 2750 m² Kammergrundriß verbraucht die Schleuse $0{,}35 \cdot 8000 \,.\, 2750 \cdot 9 =$ rd. 70 000 000 m³. Wenn diese wieder aufgepumpt werden müssen, so ist dazu aufzuwenden eine Arbeit von $70\,000\,000 \cdot 9 = 630\,000\,000$ tm oder $\frac{630\,000\,000 \cdot 1000}{0{,}75 \cdot 75 \cdot 60 \cdot 60} \cdot 0{,}73 = 2\,270\,000$ kWh.

Rechnet man mit einem Strompreise von nur 3 Pf. für 1 kWh, so betragen die Stromkosten $2\,270\,000 \cdot 0{,}03$ . . . . . 68 100 R.-M.
Dazu Betrieb, Unterhaltung und Erneuerung des Pumpwerks[1]) 19 200 „
Verzinsung und Tilgung des Pumpwerks[1]) . . . . . 17 100 „
Also Kosten der Wasserbeschaffung 104 400 R.-M.

[1]) Aus einer Zusammenstellung in der noch nicht veröffentlichten Dissertation „Die Bestrebungen zur Steigerung der Wassererersparnis bei Schiffahrtschleusen mit hohem Gefälle“ von H. Frobenius.

Bei Anwendung einer gleichen Doppelschleuse ohne Wasserverbrauch nach Abb. 1 u. 2 betragen die Aufwendungen für die Herstellung der beiden Aufnahmebecken mit zusammen 3200 t Eisengewicht (einschließlich der Heber und Rohre und der ganzen Ausrüstung) . . 1 600 000 R.-M.
Dazu die Schwimmgrube mit 70 000 m³ Bodenaushub .
(Seiteneinfassung durch die Schleusenkammern) . . . 210 000 „
1 810 000 R.-M.

Dagegen entsteht eine Verbilligung der Schleuse durch Fortfall aller Sparbecken, Vereinfachung der Füllverschlüsse und Ersatz zweier Seitenmauern durch Spundwände von wenigstens 900 000 R.-M. Also Mehrkosten der Schleuse ohne Wasserverbrauch $1\,810\,000 - 900\,000 = 910\,000$ R.-M. Rechnet man Unterhaltung, Verzinsung, Tilgung, sowie etwaige Mehrkosten des Betriebes mit 9 %, so betragen die jährlichen Kosten der Doppelschleuse ohne Wasserverbrauch 81 900 R.-M.; somit dürfte sie wohl wettbewerbfähig sein. — Das vorstehend behandelte Beispiel stimmt mit den Verhältnissen bei der neuen Schleuse des Mittellandkanals bei Allerbüttel überein, sofern man die Versickerungs- und Verdunstungsverluste der Haltung Allerbüttel—Hohenwarthe nicht, wie beabsichtigt, durch Aufpumpen aus der Weser, sondern aus der Elbe ersetzen würde. Da es sich nur um kaum 1 m³/sek handelt, wird die Elbe, besonders nach Fertigstellung einer Saaletalsperre, diese geringe Menge ohne Nachteil abgeben können.

Hiernach erscheint die Verwendung schwimmender Aufnahmebecken für manche Fälle wirtschaftlich weit vorteilhafter als die übliche Anordnung mit offenen Sparbecken und einem im Betriebe kostspieligen Pumpwerk. Bei mittleren Schleusengefällen bis wenigstens 12 m treten noch keine Ausführungsschwierigkeiten ein. Man sollte daher bei neuen Entwürfen die Bauart mit schwimmenden Aufnahmebecken wenigstens mit anderen Bauarten in Wettbewerb stellen.

Vermischtes.

Richtlinien für die Ausführung ebener Steindecken. Als Ergänzung der Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton vom 9. 9. 1925 hat die Stadt Berlin für ihren Bereich noch folgende genauere Vorschriften (vom 7. 11. 1929) zu § 8 (Eiseneinlagen) und § 17 (Schubspannungen) erlassen:

1. In belasteten Decken sollen Fugen ohne Eiseneinlagen nicht ausgeführt werden.
2. In jeder Fuge muß — wenn nicht rechnerisch mehr erforderlich ist — als geringste Eisenbewehrung ein Rundeisen von 6 mm Durchmesser vorhanden sein.
3. Es sind die genormten Eisendurchmesser 6, 7, 8, 10, 12, 14 mm usw. zu verwenden, mit der Ausnahme, daß vorläufig auch noch 9 mm starke Rundeisen zugelassen werden.
4. Bei Anwendung verschiedener Eisenquerschnitte in einem Deckenfelde dürfen auf je 1 m Breite nur Rundeisen von zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Durchmessern verlegt werden.
5. Die rechnerische Verteilung des Querschnittes darf höchstens auf eine Breite von 1 m erfolgen.
6. Für die Berechnung der Schubspannungen in Decken Kleinescher Art ist als Scherbreite von 1 m Deckenplatte
   a) bei Flachkantziegeln (10, 12, 13 bis 15 cm Deckenhöhe) $b_0 = 42$ cm,
   b) bei Hochkantziegeln (15, 18 bis 20 cm Deckenhöhe) $b_0 = 47{,}2$ cm anzusetzen. Hierbei wird eine geringste Stegstärke der Steine von 1,7 cm und eine Fugenbreite von 2 cm (flach) bzw. 2,5 cm (hochkant) vorausgesetzt.

Ergebnisse der Mischmaschinenversuche des Deutschen Beton-Vereins. Aus den Berichten von Prof. Dr. Garbotz und Prof. Graf über die Versuchsergebnisse[1]) lassen sich für den praktischen Baubetrieb folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Trockenvormischung von Bindemittel und Zuschlagstoffen kann fortfallen. Ausnahme: Wenn verschiedene staubfeine Stoffe (Traß, Kalk, Thurament usw.) dem Zement zugesetzt werden, so ist deren gesonderte innige Trockenvormischung mit dem Zement erforderlich.
2. Für neuere Maschinen genügt eine Mischzeit von 1 min für Stampf- und Eisenbeton und von $1\frac{1}{2}$ min für fetten Straßenbeton. Die Mischzeit wird gerechnet vom Ende des Einlaufs sämtlicher Mischstoffe in die Trommel an.
   Durch Anordnung von Sanduhren, Umlaufmessern oder ähnlichen Vorrichtungen muß der Maschinenführer dazu gebracht werden, die Mindestmischzeiten einzuhalten.
3. Die Zuverlässigkeit der vorhandenen Wasserabmeßvorrichtungen ist nachzuprüfen. Neue Maschinen sollten nicht ohne einwandfreie Wassermesser gekauft werden. Dabei ist eine Genauigkeit von ± 3 % zu fordern.

Wenn auch die zur Zeit geltenden Eisenbetonbestimmungen einer solchen Auswertung zum Teil noch entgegenstehen, so besteht doch kein sachlicher Grund, die neuen Erkenntnisse nicht anzuwenden. Es wird, u. U. unter Vermittlung des Deutschen Beton-Vereins, wohl immer möglich sein, hierzu das Einverständnis der Bauaufsichtsbehörden zu erlangen. Außerdem werden die Ergebnisse der Versuche in den neuen Eisenbetonbestimmungen berücksichtigt werden.

[1]) Vgl. Bericht über die 32. Hauptversammlung des Deutschen Beton-Vereins.

Der neue Hafen von Venedig. Der westlich von Venedig gelegene alte Hafen genügt schon seit Jahren nicht mehr dem Bedürfnis, die örtlichen Verhältnisse verbieten aber seine Erweiterung, und man hat sich daher zu einer Neuanlage an anderer Stelle entschlossen. Um die Wende des Jahrhunderts stand Venedig mit einem Umschlag von fast 2 Mill. t hinter Genua an zweiter Stelle unter den italienischen Häfen; bis 1924 war es, von Triest überholt, an die dritte Stelle gerückt, obgleich sich der Verkehr auf 2,3 Mill. t vermehrt hatte.

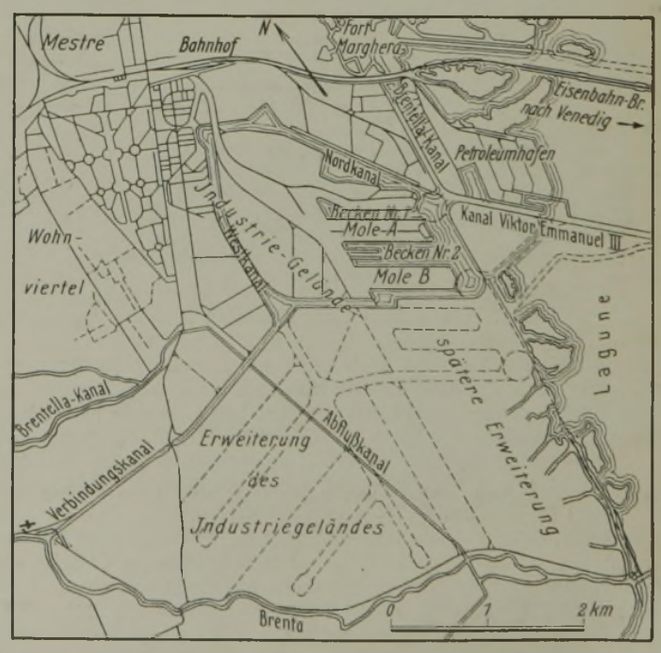


Abb. 1. Gesamtlageplan der neuen Hafenanlagen Venedig-Mestre.

Der neue Hafen kommt an das Festland in die Nähe des Forts Margherita bei Mestre zu liegen. Die Bauarbeiten sind schon seit einigen Jahren im Gange. Es handelt sich dabei um die Schaffung von Hafenbecken mit 200 ha Fläche; die sonstigen Hafenanlagen und die Kais bedecken 150 ha. Im Zusammenhang damit steht der Bau eines Großschiffahrtkanals durch die Lagune und einer Fabrik- und Arbeiterstadt. Die Pläne für diese Anlagen (Abb. 1) rühren von Prof. Coen Cagli von der Technischen Hochschule Rom her.

Beim Entwurf der neuen Hafenanlagen wurde Wert darauf gelegt, die Lagunen unberührt zu lassen, weil man fürchtete, es könne sonst der Verlauf von Ebbe und Flut, der für die Kanäle von Venedig von Bedeutung ist, zerstört werden. Einbauten in die Lagunen sind daher vermieden worden, die Hafenbecken sind vielmehr in das Land eingeschnitten. Zwischen und neben einer Reihe von 1000 m langen und 200 m breiten Molen, von denen zunächst nur zwei ausgeführt werden, liegen die Hafenbecken, von denen eins zur Herstellung der Verbindung zwischen See- und Binnenschiffahrt dient. Aus seinem landseitigen Ende zweigt ein Kanal ab, der anderseits an die Brenta anschließt. Die neuen Hafenbecken münden in einen Vorhafen aus, der durch den schon erwähnten, durch die Lagune führenden Großschiffahrtweg mit dem alten Hafen von Venedig in Verbindung steht. Dieser Kanal ist 4,1 km lang; er hat eine Sohlenbreite von 40 m und eine Wassertiefe von 10 m bei mittlerem Wasserstande, 1 m mehr als die Hafenbecken, was genügt, um die größten, in Frage kommenden Schiffe aufzunehmen. An ihrer Wurzel sind die Molen durch eine Kaimauer verbunden, auf und hinter der die Eisenbahngleise zur Bildung der nach dem benachbarten Bahnhof Mestre abfahrenden Züge liegen.

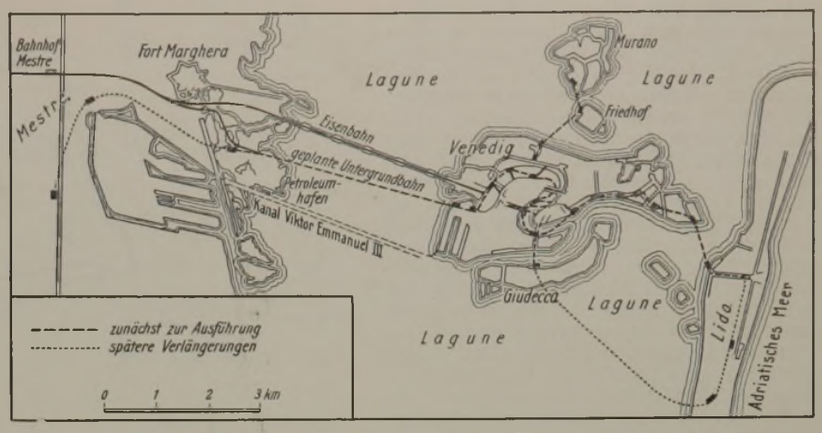


Abb. 2. Lageplan mit der geplanten Untergrundbahn.

Der neue Hafen Venedig wird durch einen 3,5 km langen Kanal, der 300-t-Kähne aufnehmen kann, und durch das mit der Brenta zusammenhängende Wasserstraßennetz mit dem Flußhafen von Padua in Verbindung gebracht.

Im Norden, Westen und Süden ist der neue Hafen von Industriegelände umgeben, das in seinen einzelnen Teilen zu Wasser zugänglich ist. Im Nordgelände liegt ein kleiner Petroleumhafen, wo Tankdampfer mit Petroleum u. dgl. löschen können. Die Straßen dieses Geländes haben eine Länge von 50 km, außerdem dienen dem Verkehr Eisenbahngleise von 70 km Länge. Ein anschließendes Wohnviertel, das als Gartenstadt ausgestaltet werden soll, bedeckt eine Fläche von 200 ha; hier kann eine Bevölkerung von etwa 30 000 Köpfen Platz finden.

Zum Bau des Hafens ist eine Aktiengesellschaft gegründet worden, der auch der Betrieb übertragen worden ist. Zu ihrer Aufgabe gehört die Anlage des Hafens selbst und der Gleisanlagen, während die Stadt Venedig das Straßennetz der Wohnstadt baut. Zunächst werden die Hafenbecken und die Kanäle ausgehoben. Die dabei gewonnenen Massen dienen zum Auffüllen von Teilen der Lagune, die von Ebbe und Flut nicht berührt werden. Bis jetzt sind etwa 10 Mill. m³ solcher Massen gewonnen worden, mit denen 850 ha hochliegendes Gelände geschaffen worden sind. Zum Gewinnen dieser Massen dienen Schwimmbagger, mit denen eine Tagesleistung von 10 000 m³ erreicht werden kann. Die Molen werden aus Hohlblöcken gebildet, die nach dem Versenken im unteren Teil mit Beton, im oberen mit Sand ausgefüllt werden. Die ersten 1000 m Mole sind bereits benutzbar. Die nutzbare Liegelänge für die Schiffe, 2200 m, genügt für einen Umschlag von 2 Mill. t jährlich. Erreicht wird diese Leistung durch Ausstattung der Anlagen mit neuzeitlichen Hebezeugen, Fördergeräten u. dgl.

Ein wichtiges Bauwerk im Zusammenhang mit dem Hafen ist die große Straßenbrücke, die in 1500 m Länge die Gleisanlagen überschreitet und sich beiderseits verzweigend einen schienenfreien Zugang zu den Hafenanlagen und zu den Industrievierteln bildet, anderseits mit der großen Straße nach Padua in Verbindung steht.

Bei der eigenartigen Lage von Venedig, die eine Erweiterung der Stadt selbst verbietet und dazu zwingt, neue Stadtteile auf dem Festlande anzulegen, spielt die Frage einer schnellen Verbindung zwischen den verschiedenen Teilen der Stadt für den Personenverkehr eine wichtige Rolle. Jetzt braucht man für den 9 km langen Weg von der Rialto-Brücke bis zur Mitte von Mestre unter Benutzung von Eisenbahn, Wagen und Boot etwa eine Stunde. Diese Zeit soll durch den Bau einer Untergrundbahn auf 20 min abgekürzt werden. Sie soll in Marghera beginnen, wo die Straßenbahnen von Padua und Treviso endigen, die neuen Stadtanlagen auf dem Festland durchschneiden und neben der jetzigen Eisenbahnbrücke die Lagune untertunneln. Sie verbindet so den alten mit dem neuen Hafen. Ihre Verlängerung führt bis auf den Lido (Abb. 2).

Um die Entwicklung des neu geschaffenen Industriegeländes zu fördern, hat man die Preise für den Grund und Boden niedrig gehalten. Bis 1927 konnte man dort noch Land für 1,45 bis 2,75 Lire/m² erwerben. Bis Juni 1928 hatten sich dort schon 45 gewerbliche Unternehmen niedergelassen, deren Anlagen eine Fläche von 265 ha einnehmen. 8 km lange Kanäle mit 1000 m Kailänge und 15 km lange Eisenbahngleise dienen dem Verkehr in diesem Viertel.

Der Staat hat bis jetzt 140 Mill. Lire für den neuen Hafen Venedig ausgegeben, die Stadt Venedig 40 Mill. Lire, und 20 Mill. Lire stehen noch zur Verfügung. Die bereits vorhandenen gewerblichen Anlagen haben einen Wert von 340 Mill. Lire, und weitere solche Anlagen sollen demnächst mit einem Aufwande von 75 Mill. Lire geschaffen werden. Dazu kommen noch 35 Mill. Lire für die Wohnstadt, so daß im ganzen 510 Mill. Lire angelegt sind oder es demnächst werden. Wkk.

Die Benguela-Eisenbahn.[1]) Die rasche Entwicklung des Eisenbahnnetzes in Südafrika ist auf die reichen Erz- und Edelsteinvorkommen, die für die Linienführung von ausschlaggebendem Einfluß waren, zurückzuführen. Von Kapstadt ausgehend, wurden in den letzten 50 Jahren nach und nach die Minengebiete von Kimberley, am Witwatersrand und in Südrhodesien dem Verkehr erschlossen und dann mit näher gelegenen Häfen wie East London, Durban, Lourenço Marquez und Beira durch Bahnlinien in unmittelbare Verbindung gebracht. Die Industrialisierung und die Ausbreitung der Farmwirtschaft hatten eine Verdichtung des Netzes zur Folge. Der Zusammenschluß mit den südwestafrikanischen Linien und den Bahnen von Mozambique ist vollzogen. Die Entdeckung der Kupfervorkommen im Katangagebiet (Belgisch-Kongo) anfangs dieses Jahrhunderts führte zum weiteren Ausbau der Hauptlinie von Kapstadt bis nach Bukama am Lualaba, dem Quellflusse des Kongo. Auf diese Weise erhielt das Katangagebiet eine etwa 3000 km lange Bahnverbindung mit Beira bzw. mit dem 4000 km weit entfernten Kapstadt. Der durch den Weltkrieg günstig beeinflußten weiteren Entwicklung dieses Industriegebietes erwiesen sich jedoch der lange Bahnweg über Rhodesien nach Beira an der Ostküste und der weite Seeweg von 7500 Sm zu den Weltmärkten Europas hinderlich. Es lag nahe, eine unmittelbare Verbindung mit der Westküste zu schaffen, da der Kongo als durchgehende Wasserstraße infolge seiner Kataraktstrecken nicht in Betracht kam. Ein Blick auf die Karte zeigt, daß als kürzeste Linie eine die südäquatoriale Schwelle — auch Lundaschwelle genannt — durchquerende Strecke in Frage kommt. Da die Benguelabahn bereits 1912 bis Chinguar etwa 500 km von der Küste reichte, schien es zweckmäßig, durch Ausbau dieser Linie, die in der Lobitobai einen der besten Häfen der Ostküste besitzt, die Verbindung herzustellen. Die während des Weltkrieges eingestellten Arbeiten wurden etwa 1924 wieder aufgenommen und derart gefördert, daß Ende 1928 die Grenze bei Kilo erreicht wurde. Die weitere Anschlußstrecke von 540 km Länge im Gebiet des Kongostaates nach Tschilongo soll bis Ende 1930 fertiggestellt werden, wodurch Kambore eine etwa nur 2000 km lange Eisenbahnverbindung mit einem Hafen der Westküste erhält, der 2500 Sm näher zu den europäischen Häfen als Beira liegt. Damit wird der Zusammenschluß des großen südafrikanischen Bahnnetzes mit den zentralafrikanischen Linien in Angola und im Kongostaat erreicht und auch die erste west-östliche transkontinentale Verbindung von Benguela nach Beira geschaffen. Da von Bukama nach Kabalo eine Schiffsverbindung am Lualaba, von dort eine Eisenbahn nach Albertville am Tanganjikasee besteht, der regelmäßigen Dampferverkehr besitzt, ist auch eine zweite Querlinie damit geschaffen, die über das ehemalige Deutsch-Ostafrika nach Dar-es-Salam führt.

Auch die dritte seinerzeit geplante Linie zum unteren Kongo ist inzwischen von Bukama bis Jlebo am unteren schiffbaren Kassai ausgebaut und im Jahre 1928 dem Verkehr übergeben worden, wodurch das im Herzen von Zentralafrika gelegene Industriegebiet zu einem wichtigen Verkehrszentrum wurde, von dem nach vier Richtungen Eisenbahnen ausstrahlen. Die Vorbedingungen für die weitere Entwicklung des Katangagebiets sind somit äußerst günstige geworden. Sein Reichtum an Kupfer, Kobalt, Zinn, Radium, Gold und Kohle macht es zu einem Bergbauland ersten Ranges, aber auch die anschließenden Gebiete sind aufblühende Bergbaugebiete. Die Ansammlung großer Arbeiterscharen wird auch die Kolonisation dieser Gebiete zur Folge haben. Als Siedlungsgebiete sind namentlich der Planalto Südangolas, das Batoka- und Mutschingahochland Nordrhodesiens und das Marunguhochland Katangas klimatisch geeignet, wo eine europäische Farmenwirtschaft günstige Erwerbsmöglichkeiten durch das benachbarte reiche Industriegebiet von Kambòve findet. Das rasche Aufblühen Nordrhodesiens hat auch zur Folge, daß man eine unmittelbare Verbindung von Katanga nach Beira, das nur auf dem großen Umwege über Livingstone—Bulawayo—Salisbury erreicht wird, plant, nämlich eine Querverbindung, die von Salisbury über Sinoia nach Kafue an der Hauptlinie geführt werden soll, wobei der Sambesi in der Karibaschlucht überbrückt werden soll.

Die 1347 km lange Benguelabahn führt von der Lobitobucht ausgehend über Benguela auf das Hochland von Bihe und die östlichen Teile des Planalto von Angola. Dieses 1000 bis 2000 m hohe Hochland bildet die Wasserscheide zwischen Kongo-Kassai-System und dem Einzugsgebiet des Sambesi, dem Kongobecken und dem Kalaharibecken. Die in Kapspur (1,067 m) erbaute Bahn ist also eine Gebirgsbahn, die ziemliche Geländeschwierigkeiten überwindet, namentlich im Gebiete des Steilabfalles der Hochfläche. Obwohl sie im Wasserscheidegebiet keine großen Ströme

[1]) Aus A brief history of the Benguela Railway. Compiled und published by the Publicity Agent of the Benguela Railway Company London.

quert, sind doch etliche größere Brücken, darunter eine mit vier Öffnungen zu 40 m über den Kuanza und viele Viadukte nötig geworden. Bei km 385 erreicht sie bei Calenga den Scheitelpunkt in 1854 m Seehöhe; von dort fällt sie allmählich bis auf Kote 1272 am Kuanzafluß in km 725 ab, steigt dann abermals bis auf 1495 m Seehöhe in Simoje bei km 862, von wo sie in stetigem Gefälle an die Grenze bei Kilo führt, das auf Kote 989 liegt. Der Sitz der Bahnverwaltung ist Huambo (km 426) in 1628 m Seehöhe mit gutem Klima; dort sind die Hauptwerkstätten. Der rasch aufstrebende Ort, von dem gute Straßen nach allen Richtungen ausgehen, soll Sitz der Kolonialregierung werden; besitzt einen Lufthafen und Funkstation. Sobald das Küstengebiet verlassen ist, verläuft die Bahn im Hochflächentrockenwaldgebiet und durch Savannenlandschaften mit günstigen klimatischen Verhältnissen. Es wird sich mit der Zeit zu einem Baumwolland entwickeln. Die Bahn wird außer den Erzen auch die landwirtschaftlichen Erzeugnisse der Plantagen und Farmen befördern, für die ein Straßennetz von 10 000 km Bringungswege bietet.

Außer der Anschlußlinie von Kilo nach Tschilongo von 540 km Länge im Kongostaat, die im Bau ist, sind auch andere Zweiglinien, z. B. nach Saurimo, sowie auch eine Linie nach Livingstone am Sambesi geplant. Sie soll von Munyango in km 844 ins Lungwebungotal führen bis zu der Stelle, wo der Fluß schiffbar wird. Auf dem oberen Sambesi soll die Schiffahrt bis zu den Gonye-Fällen reichen, von wo eine Bahnlinie bis Livingstone gebaut werden soll.

Für das Jahr 1931, wo der Verkehr mit dem Katangagebiet eröffnet sein wird, rechnet man mit 100 000 t Einfuhr und 160 000 t Ausfuhr in der Lobitobucht, wo Hafenanlagen für einen jährlichen Schiffsverkehr von 200 Schiffen errichtet werden. Die Lobitobucht bildet einen ausgezeichneten natürlichen Hafen.

Die Lage der Bahn in der Mittellinie der Kolonie Angola ist die denkbar günstigste, bildet sie doch die Schwerlinie des besiedlungsfähigen Hochlandes, wo 75 000 km² Land als Kulturboden geeignet erachtet wird. Die Besiedlung des Landes, dessen Küstenstreifen schon anfangs des 16. Jahrhunderts von den Portugiesen besetzt wurde, hat erst im vorigen Jahrhundert begonnen, und zwar war der schiffbare Unterlauf des Kuanza lange Zeit der Hauptweg ins Innere. In Mossamedes wurde erst 1839 dauernd Fuß gefaßt. Von Loando wurde dann auch eine Eisenbahn bis Malandje erbaut, ebenso von Mossamedes nach Lubango, die jedoch nur örtliche Bedeutung haben. Wirklich erschlossen wird das Hinterland erst durch die Benguelabahn sowie die vielen neuen Straßen, deren Netz 24 000 km mißt. Das kleine Portugal konnte nicht das Geld und die Kräfte aufbringen, um ein Land von 1 206 000 km² und 4 200 000 Einwohnern dem Weltverkehr zu erschließen, daher war das Wirtschaftsleben schwach entwickelt, bis der in amerikanischen Händen befindliche Diamantbergbau die Anlage von Autostraßen nach den Diamantfeldern bewirkte und fremde Kräfte die Benguelabahn schufen, die zu einem der reichsten Bergbaugebiete der Welt führt. Der Mineralreichtum hat die Entwicklung des Katangagebietes geradezu überstürzt, Städte wie Elisabethville erreichten in zehn Jahren eine Einwohnerzahl von 18 000. Dieses weltentlegene Gebiet wird nun durch die neuen Verbindungswege sich noch weiter entwickeln.

Dr. W. Vieser.

Die Tagung ist öffentlich.

Die diesjährige Hauptversammlung der Studiengesellschaft für Automobilstraßenbau am 17. Dezember in Berlin bei Kroll wird sich ab 10,30 Uhr vorm. besonders mit dem deutschen Automobilstraßennetz im Rahmen Mitteleuropas beschäftigen. Verbandsdirektor Dr. Schmidt, Essen, wird hierüber einen Vortrag halten, nachdem vorher Direktor Dr. Fischer von der Reichskreditgesellschaft zu dem Thema „Langfristige Straßenbauanleihen" gesprochen hat. Ferner ist vorgesehen, daß Dr. Loening über „Die Landstraßen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, ihre Verwaltung und Finanzierung" auf Grund von Eindrücken einer Studienreise berichtet.

Patentschau.

Bearbeitet von Regierungsrat Donath.

Schleusenartige Schiffshebevorrichtung. (Kl. 84b, Nr. 475 325 vom 24. 6. 1926 von Société Technique d'Etudes et d'Entreprises pour l'Industrie und Albert Huguenin in Paris.) Die Vorrichtung besteht in einem Schiffshebewerk, bei dem in einer Schwimmerkammer ein an seinen Stirnflächen gegen die Kammer abgedichteter Trog mit ständig gleichem Tiefgang schwimmt, und bei dem in den die Schwimmerkammer mit dem Ober- und Unterwasser verbindenden Kanälen eine Pumpeneinrichtung angeordnet ist. Der schwimmdockartige Schwimmtrog *a*, der einen Nutztiefgang *c* hat, ist an beiden Stirnenden gegen die ebenen Flächen *b* der Schwimmkammer *d* abgedichtet; der Trog *a* taucht in eine Wassermasse, die sich zwischen den Seitenmauern *e* und den Stirnwänden *b* der Schwimmkammer *d* befindet. An der Schwimmkammer *d* sind z. B. stromabwärts zwei Kanäle *f* kreisförmigen Querschnitts vorgesehen, die die Schwimmkammer *d* mit dem Unterwasser verbinden und je eine Axialpumpe *g* enthalten, die durch einen in einer dichten Maschinenkammer *i* liegenden

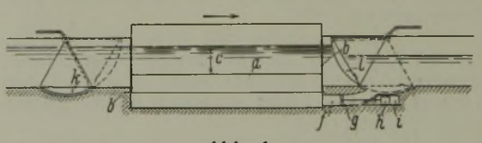


Abb. 1.

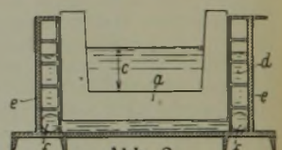
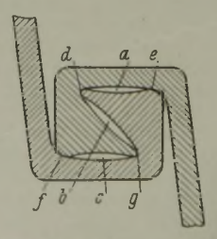


Abb. 2.

Elektromotor *h* angetrieben wird. Tore *k* und *l* verschließen die Einfahrten in die Kammer *d*. In der oberen Wartestellung (Abb. 1) ist das Tor *k* geöffnet und das Tor *l* geschlossen. Die Pumpen *g* sind für beide Drehrichtungen eingerichtet und können mit veränderlicher Drehzahl arbeiten. Sind die Schiffe in den Trog *a* eingefahren, so wird Obertor *k* geschlossen und der Wasserspiegel in der Schwimmkammer *d* mit Hilfe der Pumpen *g* abgesenkt, wodurch sich der Trog senkt, bis sein Wasserspiegel denjenigen des Unterlaufs erreicht hat. Jetzt wird die Umlaufgeschwindigkeit der Pumpen *g* vermindert und, falls erforderlich, der Drehsinn geändert, dann wird das Tor *l* geöffnet, und die Schiffe können ausfahren.



Spundwandeisenschloß. (Kl. 84c, Nr. 471 714 vom 8. 1. 1925 von Karl Pahl in Heidelberg.) Die sich gegenseitig umklammernden Schloßteile sind an den Auflageflächen ausgespart und berühren einander nur in Linien, so daß beim Rammen eine Stauchung der vorspringenden Kanten stattfindet, die einerseits Ungleichheiten beseitigt, anderseits einen festen Abschluß gibt. Infolge der Hohlräume *a*, *b*, *c* berühren sich die Schloßteile nur an den Stellen *d*, *e*, *f*, *g*.

INHALT: Dalben aus flußstählernen Spundbohlen. — Bewegungswiderstand der Eisenbahnwagen in Kurven. — Das Rheinkraftwerk Kembs. — Schleuse ohne Wasserverbrauch mit schwimmenden luftbetriebenen Aufnahmebecken. — Vermischtes: Richtlinien für die Ausführung ebener Steindecken. — Ergebnisse der Mischmaschinenversuche des Deutschen Beton-Vereins. — Neuer Hafen von Venedig. — Benguela-Eisenbahn. — Diesjährige Hauptversammlung der Studiengesellschaft für Automobilstraßenbau. — Patentschau.

Schriftleitung: A. Laskus, Geh. Regierungsrat, Berlin-Friedenau.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin.