

Alle Rechte vorbehalten.

## Flughäfen in Ausgestaltung und Betrieb.

Von Prof. Dr.-Ing. Carl Pirath, Stuttgart.

### 1. Allgemeine Bedeutung der Flughäfen und ihre Lage im Luftverkehrsnetz.

Das Luftverkehrswesen entwickelte sich aus drei technischen Vorbedingungen: dem Bau leistungsfähiger Luftfahrzeuge, der Anlage von Betriebsstellen und Fluglinien und der Technik des Fliegens. Mit der Entwicklung der Landesluftverkehrsnetze und mit ihrem Zusammenschluß zum Weltluftverkehrsnetz gewinnen die Betriebsanlagen in Gestalt der Flughäfen und Fluglinien für den regelmäßigen öffentlichen Luftverkehr eine immer größere Bedeutung. Die Aufgaben der Flughäfen zu Wasser und zu Lande sind zweierlei Art. Erstens sollen sie in betriebstechnischer Hinsicht Gelegenheit geben zum Landen und Starten, also zum Wechseln des Transportmediums, zur Ergänzung der Betriebsstoffe sowie zur Wartung und Unterhaltung des wertvollen Luftfahrzeugs. Zweitens sollen sie in verkehrstechnischer Hinsicht die Aufnahme und Abgabe des Verkehrsgutes in Gestalt von Reisenden, Post und Fracht ermöglichen. Die Flughäfen, nicht die Fluglinien, bestimmen die Leistungsfähigkeit eines Luftverkehrsnetzes. Ihre zweckmäßige Ausgestaltung für den Flugbetrieb ist daher ein wesentliches Fundament für einen leistungsfähigen Luftverkehr.

Welche wirtschaftliche Bedeutung den Flughäfen heute bereits zukommt, ist daraus zu ersehen, daß nach dem heutigen Stande der Entwicklung beim Luftschiffverkehr die jährlichen Flughafenbetriebskosten 10 bis 12% und beim Flugzeugverkehr 6 bis 7% der gesamten Selbstkosten im Luftverkehr betragen. Ein großer Luftschiffhafen, der mit Luftschiffhallen auszustatten ist, erfordert 12 bis 15 Mill. R.-M. Anlagekosten, ein großer Flughafen für Flugzeugverkehr 3 bis 4 Mill. R.-M. Demgegenüber kostet die Einrichtung einer Fluglinie für den Nachtverkehr 800 R.-M. für 1 km und die betriebsfähige Unterhaltung der Anlagen jährlich 300 R.-M. für 1 km. Das Schwergewicht der technischen Anlagen auf der Erdoberfläche, die im allgemeinen mit Bodenorganisation bezeichnet werden, liegt daher bei den Flughäfen.

In verkehrstechnischer Hinsicht beginnen sich Unterschiede zu bilden zwischen Weltflughäfen, Hauptlandesflughäfen und Bezirksflughäfen, die für die Lage, den Umfang und die Ausgestaltung von Flughäfen von grundlegender Bedeutung sind. Während im ersten Entwicklungsstadium des Luftverkehrs, in dem die Reichweite der Flugzeuge zwischen 0 bis 500 km lang, vielfach aus rein betriebstechnischen Gründen Flughäfen zur Betriebsstoffergänzung und Nachprüfung der Motoren angelegt werden mußten und mit Rücksicht auf das technische Versuchsfeld die verkehrlich richtige Lage der Häfen in zweiter Linie stand, mußte bei der Weiterentwicklung des Verkehrs der Zweck der Flughäfen als Aufnahme- und Abgabestellen für Personen- und Frachtverkehr mehr in den Vordergrund gerückt werden. Heute ist bereits auf Flugstrecken von 900 bis 1000 km Länge ohne Zwischenlandung der Luftverkehr eingerichtet und damit die Freiheit in der Linienführung erreicht, die für einen wirtschaftlichen Luftverkehr notwendig ist. Die Wahl des Platzes für einen Flughafen kann heute schon wie bei jedem Fernverkehrsmittel in erster Linie nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, also nach dem Verkehrsbedürfnis getroffen werden. Seine flugbetriebstechnische Eignung ist im allgemeinen gegeben, da große Wirtschaftszentren, für die der Luftverkehr in erster Linie arbeiten wird, in ebenen Geländeverhältnissen sich entwickelt haben, also für Flughäfen im allgemeinen günstige physiographische Vorbedingungen aufweisen.

Die verhältnismäßig große Unabhängigkeit des Luftverkehrs von der Herrichtung eines Transportweges gibt auch für die Wahl der Flughäfen eine weitgehende Freiheit. Übereiltes Handeln ist nicht notwendig, da Luftlinien leicht verlegt werden können. In dieser Beweglichkeit liegt eine technische Hauptstärke des Luftverkehrsmittels gegenüber allen anderen Verkehrsmitteln. Sie erleichtert zweifellos auch die wirtschaftliche Trassierung der Luftverkehrslinien oder ihre Führung zur Befriedigung des günstigsten Verkehrsbedürfnisses, die in erster Linie die Frage, wo ein Flughafen anzulegen ist, entscheidet. Denn mit der verkehrlichen Bedeutung der Flughäfen wächst auch der Umfang und die Art der technischen Anlagen. Mit ihr wechseln die Schwierigkeiten in der Abwicklung des Flughafenbetriebes. Die heute übliche Unterscheidung der Flughäfen als Flugbetriebsstellen nach Flugplätzen, Landeplätzen und Hilfslandeplätzen wird daher für die Flughäfen noch vom verkehrstechnischen Standpunkte aus ergänzt werden müssen durch die Einteilung nach Weltflughäfen, Hauptlandesflughäfen und Bezirksflughäfen, letztere im wesentlichen für den Sport und Gelegenheitsverkehr vorgesehen.

Da sich dem Luftfahrzeug wegen seiner verhältnismäßig großen Transportkosten nur hochwertiges Reisegeut zuwenden wird, das, von großen Entfernungen ankommend, sofort nach allen Landesteilen weiterbefördert werden muß, so erfordert weiterhin die Lage des Flughafens einen günstigen Anschluß an die übrigen Verkehrsmittel, wie Eisenbahn- und Kraftwagenlinien. Es wäre ein großer Fehler für die künftigen Aufgaben des Luftverkehrs, wenn unter dem Einfluß der heute noch vorliegenden technischen Schwierigkeiten im Luftfahrzeugbau und in der Navigation kostspielige Flughafenanlagen hergestellt würden, die vielleicht vom betriebstechnischen Standpunkte aus zweckmäßig sind, aber abseits von leistungsfähigen sonstigen Verkehrsmitteln und auch abseits von starken Wirtschaftsgebieten liegen. Der damit verbundene Zeitverlust in der Erreichung des Reiseziels kann den technisch vielleicht ideal gelegenen Flughafen in seiner Verkehrswertigkeit so stark herabmindern, daß seine Ausschaltung aus dem großen Luftliniennetz nötig wird. Das schließt nicht aus, daß in der heute noch bestehenden technischen Versuchszeit im Interesse der Entwicklung des technischen Instruments Flughäfen wegen ihrer besonderen betriebstechnischen Vorzüge eingerichtet werden. Derartige Flughäfen sollten dann aber auch bewußt, wenn verkehrstechnisch ungünstig gelegen, als vorübergehende Anlagen angesprochen und ausgebaut werden. Unter diesem Gesichtspunkte wäre beispielsweise die Anlage eines Luftschiffhafens in Freiburg wegen seiner nach dem heutigen Stande der Technik flugbetriebstechnisch günstigen Lage zu beurteilen, ein Hafen, der später aus verkehrstechnischen Gründen zweifellos in das große Wirtschaftsgebiet am Unter- und Mittelrhein oder nach Mitteldeutschland verlegt werden müßte.

Ist in dieser Weise festgelegt worden, an welchen Punkten eines Gebiets aus verkehrlichen und betrieblichen Gründen ein Flughafen in Frage kommt, so ist örtlich zu untersuchen, an welchem Platz er seine Aufgabe am wirtschaftlichsten erfüllen kann. Bei der Wahl eines Platzes für einen Flughafen kann grundsätzlich von dem Verkehrswerte seiner Lage und von seinem Betriebswerte gesprochen werden. Der Verkehrswert liegt in erster Linie in der Lage des Flughafens zum Luftverkehrsnetz, zum Aufkommen des größten Verkehrsbedürfnisses, zum Schwerpunkt des Handels- und Geschäftsviertels und der Stadt, sowie zu den übrigen Verkehrsmitteln, vor allen Dingen Post, Eisenbahn und Kraftwagenlinien. Der Betriebswert ist zu beurteilen nach der Freiheit des Raumes von Flußnebeln, Bodennebeln, Rauch und Böen, ferner nach dem Flächeninhalt und der Gestalt des Platzes sowie seiner Lage zu den vorherrschenden Winden. Je nachdem all diese Faktoren, denen eine verschiedene Bedeutung zuzumessen ist, günstig oder ungünstig gelagert sind, wird die Lage des Flughafens im engeren Sinne zu betrachten sein. Dabei ist die Entfernung des Flughafens vom Stadtkern, die heute 4 bis 16 km beträgt, in dem Maße von Nachteil, in dem kleine Flugstrecken an den Flughafen anschließen, während mit der Zunahme der Größe der anschließenden Flugstrecken, also bei Kontinental- und Transozeanstrecken, dieser Faktor an Gewicht verliert. In allen Fällen wird aber ein Flughafen unmittelbarsten Anschluß an leistungsfähige Eisenbahnlinien und Kraftwagenlinien erhalten müssen.

### 2. Die betriebstechnischen Grundlagen für die Ausgestaltung der Flughäfen.

Für die Ausgestaltung der Flughäfen sind die betriebstechnischen Grundlagen maßgebend, die auch den oben skizzierten Betriebswert bestimmen. Diese Grundlagen sind für Luftschiff- und Flugzeughäfen in mancher Beziehung verschieden. Zwar sind für beide die Geländegestaltung sowie die Wind- und Luftverhältnisse von gleich großer Bedeutung. Das Gelände muß möglichst eben sein, die Windverhältnisse müssen möglichst gleichmäßig und beständig sein; Böigkeit, also starker Richtungswechsel des Windes in der Wagerechten und Lotrechten, ist sehr ungünstig. Weiterhin soll die Bodenkennung durch Nebelbildung möglichst wenig behindert sein. Alle diese Rücksichten bei der Wahl eines Platzes sind für beide Flughafenarten in gleicher Weise zu nehmen. Dagegen besteht ein grundsätzlicher Unterschied im Landen und Starten, der für die Ausgestaltung der Flughäfen für Luftschiffe und Flugzeuge von wesentlicher Bedeutung ist.

Das Luftschiff kann in schwebendem Zustande bei kurzen Aufenthalten an Landemasten festgemacht werden, an denen es mit seiner Spitze drehbar verankert wird und sich nach den Windrichtungen ein-

stellen kann. Bei längerem Aufenthalt ist seine Unterbringung in einer Halle notwendig. Die Landemasten sind ausgestattet mit Anlagen zur Übernahme und Abgabe des Verkehrsutes und mit Leitungen, durch die das Luftschiff mit den verschiedenen Betriebsstoffen versehen werden kann. Abb. 1 zeigt den amerikanischen Landemast von Lakehurst mit 52 m Höhe und 55 t Gewicht. Die Höhe des Mastes ist bestimmt durch die Länge des Luftschiffs und durch die Forderung, daß die Neigung des Luftschiffs nicht über 10° betragen soll. Zwölf Mann sind in der Lage, ein starres Luftschiff vom Typ des Zeppelin an einem derartigen Landemast festzumachen. In Staken bei Berlin ist ein Landemast von geringerer Höhe erbaut worden, bei dem die lotrechte Bewegung des Luftschiffs dadurch verhindert wird, daß es mit seiner Führergondel auf einem Wagen verankert ist, der der wagerechten Drehbewegung des Luftschiffs um den Ankermast folgen kann. Das Festmachen eines Luftschiffs am Ankermast kann im übrigen noch nicht als ideale Lösung für das Landen angesehen werden, da es bei bewegter Luft mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft ist.

Während hiernach das Luftschiff in schwebendem Zustande das Landen und

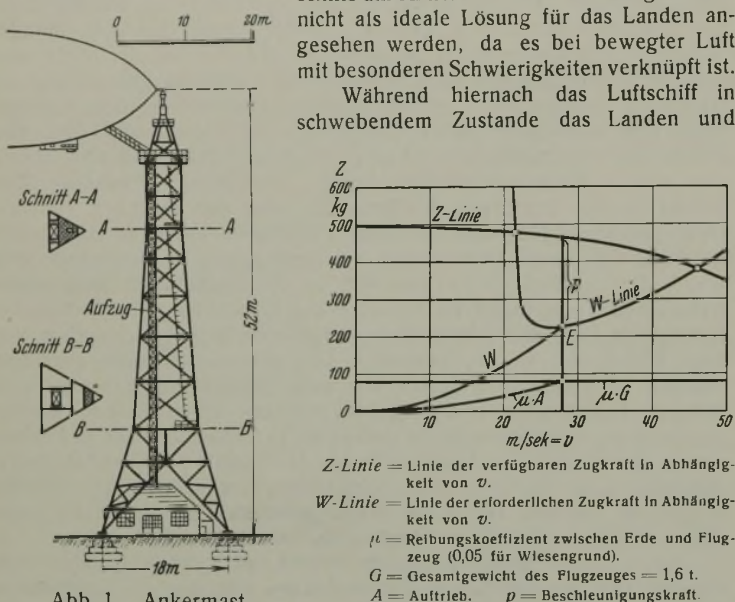


Abb. 1. Ankermast von Lakehurst für Luftschiffe. U. S. A.

Abb. 2. Kräftespiel beim Starten für Flugzeuge.

Starten vornehmen kann und die bauliche Ausgestaltung und Anlage des Luftschiffhafens verhältnismäßig einfach ist, liegen die Verhältnisse bei den Luftfahrzeugen, die schwerer als Luft sind, also den Flugzeugen grundsätzlich anders und schwieriger. Nach den aerodynamischen Gesetzen, denen das Flugzeug unterworfen ist, kann das Flugzeug sich nur so lange in der Luft halten, als es die zu seinem Schwebezustand nötige Auftriebskraft hat, die ihrerseits wieder von der Geschwindigkeit des Flugzeugs abhängt. Im allgemeinen muß bei Windstille die Geschwindigkeit zur Erzielung des Schwebezustandes bei Leichtflugzeugen 50 bis 60 km/h, bei normalen Verkehrsflugzeugen 80 bis 100 km/h betragen. Daraus ergibt sich, daß ein Verkehrsflugzeug mit einer Geschwindigkeit, die nahezu an die Schwebegeschwindigkeit heranreicht, also mit 80 km/h auf die Erde aufsetzen muß, wenn es vom Schwebezustande in den Ruhezustand übergehen will. Dabei muß eine dem Gewichte  $G$  des Flugzeugs entsprechende Energie durch Widerstandsarbeit vernichtet werden.

In Abb. 2 ist für ein Verkehrsflugzeug von 1,6 t Gesamtgewicht das Kräftespiel beim Starten veranschaulicht, das in umgekehrter Weise auch beim Landen vorliegt. Beim Starten soll die zum Schweben oder Fliegen nötige Auftriebskraft  $A$  durch allmähliche Steigerung der Geschwindigkeit auf mindestens 80 bis 100 km/h je nach der Flugzeugart erreicht werden. Zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit steht die Zugkraft  $Z$  des Motors zur Verfügung, der der Luftwiderstand  $W$  aus Flugzeugrumpf und Tragflächenrücktrieb, sowie die Reibung zwischen den Laufrädern des Flugzeugs vom Gewichte  $G$  und dem Erdboden entgegenwirkt. Durch den allmählich entstehenden Auftrieb  $A$  wird der Druck der Räder herabgesetzt und dadurch mittelbar die Reibungskraft  $\mu G$  um den Betrag  $\mu A$  vermindert. Sobald die Geschwindigkeit erreicht ist, die der Abszisse im Punkte  $E$  entspricht, befindet sich das Flugzeug in einem Zustande, der genügend Auftrieb zum Fliegen erzeugt und unter Ausnutzung der noch vorhandenen Beschleunigungskraft oder Steigreserve  $p$  auch ein Steigen, also ein weiteres Loslösen von der Bodennähe gestattet. Solange also die Schwebegeschwindigkeit  $v$  noch nicht erreicht ist, muß das Flugzeug auf dem Boden freie Bahn haben.

Während nun beim Starten die Reibung zwischen Flugzeug und Boden das Erreichen der Schwebegeschwindigkeit verzögert, wirkt für das Landen diese Reibung zur möglichst raschen Verminderung der Geschwindigkeit bis zum Halten günstig. In allen Fällen aber erhöht bzw. vermindert Gegenwind relativ die Geschwindigkeit der Luft in

günstiger Weise, so daß grundsätzlich gegen den Wind gestartet und gelandet wird.

Aus der Zugkraft- und Widerstandslinie der Abb. 2 läßt sich eine  $p/v$ -Linie, eine mit zunehmender Geschwindigkeit abnehmende Linie der Beschleunigungskraft  $p$  aufzeichnen und zur Ermittlung der Start- und Landezeiten nach dem Verfahren von Dr. W. Müller<sup>1)</sup> verwenden.

Aus dem Kräftespiel beim Starten und Landen ergeben sich nun die erforderlichen freien Flächen oder Rollängen in Gestalt von Start- und Landelängen sowie die notwendigen Abmessungen des Rollfeldes des Flughafens. In Abb. 3 ist die Ermittlung der freien Flächen für das Starten und Landen und damit für die gefahrvollsten Bewegungsvorgänge, die, wie später noch ausgeführt, als Bewegungsvorgänge 1. Ordnung bezeichnet werden sollen, für ein normales Verkehrsflugzeug veranschaulicht. Die Rollänge ist kleiner bei kleinen Flugzeugen und größer bei großen schweren Flugzeugen. Auch beeinträchtigt die Höhenlage des Flughafens die Rollänge, die beispielsweise bei 1000 m über NN wegen der geringeren Luftdichte ungefähr 20% größer sein muß als 10 m über NN. Aus Abb. 3 ergibt sich auch, daß das Starten wegen des geringen Flugneigungswinkels von 1:12 die von Hindernissen frei zu haltende Fläche für eine sichere Bewegung des Flugzeugs bestimmt. Nach den deutschen Zulassungsbedingungen für Flughäfen muß eine Rollänge von mindestens 600 m in jeder Richtung vorhanden sein, an die sich ein hindernisfreier Einschwebewinkel von 1:15 anschließt. In den Vereinigten Staaten von Amerika wird ein Einschwebewinkel

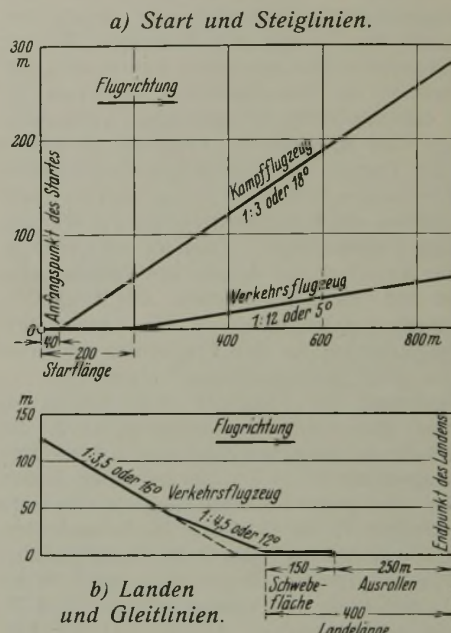


Abb. 3. Ermittlung der freien Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung.

von 1:7 verlangt. Da das Starten und Landen am günstigsten stattfinden kann, wenn es gegen den Wind möglich ist, so müssen die oben gestellten Bedingungen nach allen Seiten des Flugplatzes erfüllt sein, so daß der freie Raum einem auf den Kopf gestellten, abgestumpften Kegel von 600 m Grundfläche und 1:15 Seitenneigung entspricht.

Mit Rücksicht darauf, daß das Starten und Landen unter großen Flugzeuggeschwindigkeiten auf einem verhältnismäßig engen Raum vor sich gehen muß, sind die hierbei notwendigen Bewegungsvorgänge als besonders gefährlich anzusehen. Sie sollen daher vom betriebstechnischen Standpunkte aus als Bewegungsvorgänge 1. Ordnung bezeichnet werden. Im Anschluß an das Landen und Starten muß das Flugzeug betriebstechnisch und verkehrstechnisch abgefertigt werden. Diese Abfertigung besteht im wesentlichen in dem Versorgen der Flugzeuge mit Betriebsstoffen wie Benzin, Benzol und Öl, der maschinentechnischen Untersuchung zur Kontrolle der betriebswichtigen Organe des Flugzeugs und zur Aufnahme und Abgabe von Reisenden, Post und Fracht. Diese Arbeiten müssen örtlich von den Start- und Landeflächen getrennt mit Rücksicht auf die Betriebsicherheit für Flugzeuge und Verkehrsgut vorgenommen werden. Daraus ergibt sich die grundsätzliche Flächenteilung der gesamten Flughafenzone in eine Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung, die beim Starten und Landen in Frage kommt, und in eine Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung, auf der Flugzeuge mit geringer Geschwindigkeit bewegt und aufgestellt werden können zur Vornahme der notwendigen Abfertigungsarbeiten.

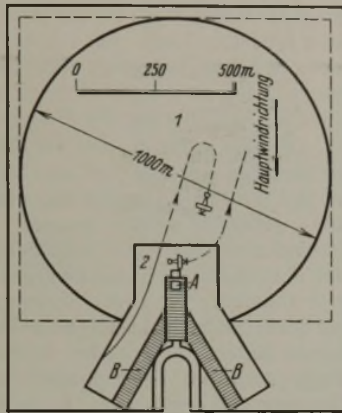
Aus diesen grundsätzlichen Betrachtungen über die betrieblichen Bewegungsvorgänge 1. und 2. Ordnung würde die zweckmäßigste Lösung für die Ausgestaltung und Form eines Flughafens darin bestehen, die Fläche für die Bewegungsvorgänge 2. Ordnung in die Mitte des Platzes zu legen. Die Start- und Landebahn reicht dann bei jeder Windrichtung von dem Mittelpunkte des Platzes bis zu seinen Grenzen. Die Rollwege sind auf ein Mindestmaß herabgesetzt, da das startende Flugzeug fast unmittelbar vom Flugsteig aus starten und das landende Flugzeug auf den Flugsteig zu landen kann. Auch die Betriebsleitung liegt im Mittelpunkte des Platzes einfach und übersichtlich. Da aber ein derartiger

<sup>1)</sup> Dr. W. Müller, „Die Fahrzeitermittlung“. Taschenbuch für Bauingenieure, herausgegeben von W. Förster, Band II. Berlin 1928. Verlag von Jul. Springer.

Platz sehr große Ausmaße erfordert, so ist diese ideale Lösung kaum anwendbar und wirtschaftlich nicht zu vertreten.

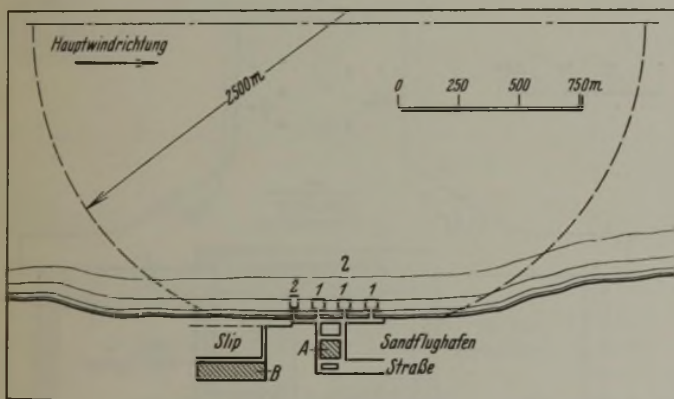
Eine nahezu gleich günstige Lösung läßt sich erreichen, wenn die Fläche für die Bewegungsvorgänge 2. Ordnung mit den zugehörigen Gebäuden möglichst weit auf den Flugplatz vorgeschoben und die Flughallen im spitzen Winkel sich anschließen, so daß fast bei jedem Wind unmittelbar von den Abfertigungsplätzen, also der Fläche 2. Ordnung ohne Richtungswechsel zum Start angetreten werden kann. Diese keilförmige Anlage der Abfertigungsanlagen ist an der der vorherrschenden oder Hauptwindrichtung entgegengesetzten Seite des Flughafens vorzusehen, da auf diese Weise am weitestgehenden das Starten und Landen beschleunigt und sicher durchgeführt werden kann. In Abb. 4 ist diese grundsätzliche Gestaltung des Flughafens veranschaulicht. Der Flughafen soll eine Ausdehnung von 1000 m nach allen Seiten haben, und damit die Fläche für das Landen und Starten möglichst freizügig ausgenutzt werden kann, ist die vorgeschobene, aber im wesentlichen seitliche Lage der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung von besonderem Vorteil. Die flankierende Lage der Flughallen B gestattet in weitgehendem Maße ein bequemes Ein- und Ausfliegen der Flugzeuge im Rollfeld. Wenn vielfach heute auf zahlreichen Flughäfen diese vorgeschobene Lage des Abfertigungsgebäudes mit rückwärts flankierenden Hallen nicht vorgesehen ist, so liegt das im wesentlichen daran, daß die vorgeschobene Lage eine etwas größere Ausdehnung des Flugplatzes verlangt, die in vielen Fällen nach den örtlichen Verhältnissen nicht erzielt werden kann. Die reine Seitenlage verlängert die Rollwege zwischen der Fläche 1 und Fläche 2, so daß sie betriebstechnisch ungünstig ist.

Die gleichen Gesichtspunkte sind beim Wasserflughafen maßgebend. Mit Rücksicht auf den großen Widerstand des Wassers beim Starten sind zur Erzielung der Schwebegeschwindigkeit größere Startlängen erforderlich, so daß für das Rollfeld heute eine 2 bis 2,5 km lange Schwimm-



A Abfertigungsgebäude. B Flugzeughallen. Fläche 1 für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung. Fläche 2 für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung.

Abb. 4. Grundsätzliche Gestaltung und Orientierung eines Landflughafens für Flugzeuge.



A= Abfertigungsgebäude B=Flugzeughallen 1=Anlegepontons 2=Werkstattschiff  
1 Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung 2 Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung

Abb. 5. Grundsätzliche Gestaltung und Orientierung eines Wasserflughafens für Flugzeuge.

fläche nötig ist bei mindestens 4 bis 6 m Wassertiefe. Die grundsätzliche Anordnung eines Wasserflughafens ist aus Abb. 5 ersichtlich. Er muß zur Hauptwindrichtung so orientiert werden, daß das Starten und Landen über die hochgelegenen Gebäude und Hallen des Flughafens möglichst vermieden wird, aber senkrecht zu dem etwa aufkommenden Wellenschlag sich vollziehen kann.

### 3. Bauliche Ausgestaltung der Flughäfen.

#### a) Flächen für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung.

Die Güte, Eignung und Leistungsfähigkeit eines Flugplatzes für den öffentlichen Luftverkehr wird im wesentlichen bestimmt durch die Flächen für Starten und Landen sowie durch die zweckmäßige Gestaltung der Abfertigungsanlagen. Während aber bei den Start- und Landeflächen eine Erweiterung nur durch einen zweiten Flughafen möglich ist, bieten die Seiten eines Flughafens genügend große Erweiterungsmöglichkeiten für die Abfertigungsanlagen. Nach besonderen Untersuchungen können heute auf einem Flughafen stündlich je 24 Flugzeuge starten und landen,

wenn eine genügende Sicherung der Bewegungsvorgänge geboten sein soll. Diese Zahl ist heute bei weitem noch nicht erreicht.

Die geeignete Form eines Flugplatzes für Luftfahrzeuge ist ein Rechteck oder ein Kreis, die beide nach allen Richtungen die gleichen Start- und Landemöglichkeiten bieten und für die Kennung aus der Luft dem Flugzeughalter in einer regelmäßigen Umgrenzungslinie wertvolle Anhaltspunkte geben. Die Mitte des Platzes wird zweckmäßig durch einen Landekreis gekennzeichnet und die Windrichtung durch eine Rauchfahne, damit die Orientierung vor allem für das Landen der Flugzeuge erleichtert wird.

Von größter Bedeutung ist aber die Oberfläche des Rollfeldes, auf dem das Starten und Landen vor sich geht. Sie muß vollständig eben sein, da schon bei kleinen Unebenheiten Brüche beim Landen vorkommen können, obwohl die Festigkeitsannahmen für Flugzeuge vorschreiben, daß ein Flugzeug beim Landen einen Stoß aufnehmen kann, der gleich dem 5- bis 7fachen des toten Gewichtes ist. Geländeneigungen von 1:80 in Deutschland und 1:40 in den Vereinigten Staaten von

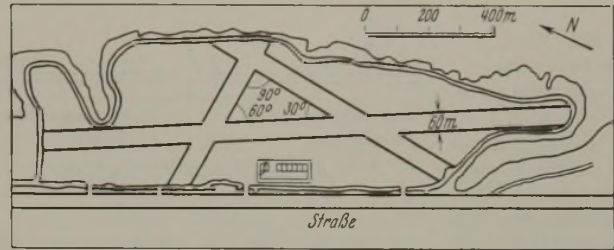


Abb. 6. Bauliche Ausbildung der Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung. Flughafen San Francisco.

Amerika sind zwar noch mit Rücksicht auf das Widerstandsgefälle zulässig, die wagerechte Fläche ist aber vorzuziehen. Nur eine geschlossene elastische Decke vermag den erheblichen Druck der Laufräder aufzunehmen und die Stöße beim Landen zu verarbeiten und zu mildern. Es ist eine der wichtigsten, aber auch kostspieligsten Aufgaben für die Zukunft, beim Landevorgang den Übergang von der Luft auf den festen Boden so zu gestalten, daß das Flugzeug durch Stöße in seiner Konstruktion nicht leidet. Vielfach wird die Lebensdauer einer Flugzeugzelle von der Zahl der Landungen abhängig gemacht, da hierbei die stärksten Erschütterungen das technische Instrument treffen. Eine gute Grasnarbe entspricht zweifellos weitgehend den an die Oberfläche des Rollfeldes zu stellenden Anforderungen, aber mit der Zunahme der Flugzeuggewichte wird sie nicht mehr genügen, sondern durch befestigte Flächen ersetzt werden müssen. Die Herstellung derartiger Flächen, die bei zweispuriger Benutzung 100 bis 150 m, bei einspuriger Benutzung 60 bis 80 m breit sein müssen, ist, abgesehen von den hohen Kosten, gebunden an möglichstste Staubfreiheit der Decken, damit die Motoren nicht

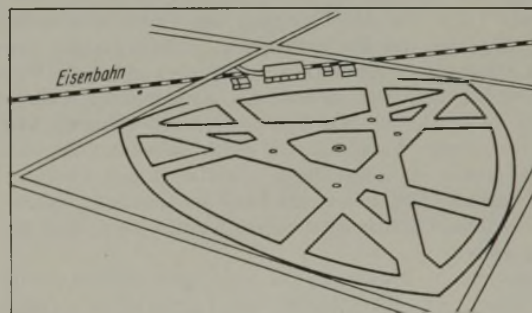


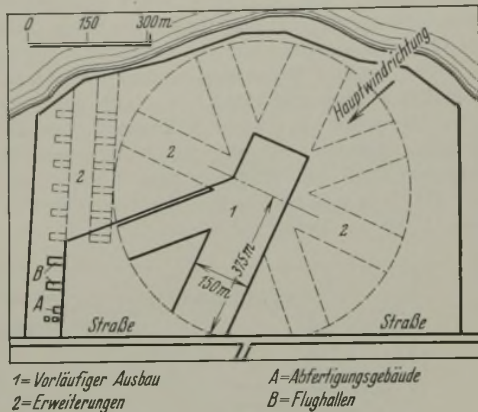
Abb. 7. Bauliche Ausbildung der Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung. Vorschlag des Ingenieurs Hadden, New York.

leiden. Am besten geeignet erscheinen Bitumendecken, wie sie heute im Straßenbau verwandt und hoch entwickelt sind. In den Vereinigten Staaten von Amerika sind derartige Befestigungen der Start- und Landeflächen durchgeführt worden in Gestalt von besonderen Bahnen, die vielfach sogar ohne Einebnung der übrigen Teile der Platzflächen gleichsam als Straßen hergestellt wurden. Diese Startbahnen müssen unter dem Gesichtspunkte angelegt werden, daß ein Flugzeug unter einem Seitenwinkel von höchstens 22,5° zur Windrichtung noch günstig starten kann. Ausgehend von einer Startbahn in der Hauptwindrichtung des Platzes, werden daher die übrigen Startbahnen unter einem Winkel von 45° von der Mitte aus sich fächerförmig entfalten können.

Der in Abb. 6 dargestellte Flughafen San Francisco<sup>2)</sup> erfüllt diese Forderung noch nicht, da die Startflächen sich zum Teil unter größeren Winkeln schneiden, also die Freizügigkeit im Landen bei jeder Windrichtung beeinträchtigen. Dagegen wird der in Abb. 7 wiedergegebene

<sup>2)</sup> „Aviation“ vom 7. 11. 27, S. 3.

Vorschlag des Ingenieurs Hadden<sup>3)</sup> der gestellten Bedingung gerecht, da er sogar Startbahnwinkel von 30° aufweist. In diesem Vorschlage ist durch charakteristische Kreise dem Flugzeugführer ein Anhalt für das Einhalten der Bahnen gegeben. In Abb. 8 ist der im Bau befindliche Flughafen von Sacramento (Kalifornien<sup>4)</sup> dargestellt. Er bietet ein lehrreiches Beispiel, wie unter Anpassung an die Verkehrsgröße zunächst nur ein Flughafenteil, der zur Hauptwindrichtung besonders günstig liegt, hergerichtet, für später aber eine systematische Erweiterung vorgesehen wird. Die hier verwendete Sternform der Startbahnen mit ihrem Mittelpunkt in der Mitte des Flughafens hat betrieblich den Nachteil, daß sich in der Mitte alle



1=Vorläufiger Ausbau  
2=Erweiterungen  
A=Abfertigungsgebäude  
B=Flughallen  
Abb. 8. Landflughafen in Sacramento (Kalifornien).

Bewegungsvorgänge treffen und zusammendrängen. In Abb. 7 ist dieser Nachteil durch Anlegen eines Kreises mit bestimmten Bewegungsrichtungen geschickt gemildert. Die Entwicklung wird für Flughäfen mit starkem Verkehr dahin gehen, daß befestigte Start- und Landebahnen angelegt werden müssen.

Es wird aber weiterhin auch notwendig sein, in der Konstruktion der Flugzeuge dauernd Rücksicht auf die Regelung und Vernichtung der den Flugzeugen beim Starten und Landen innewohnenden Energie zu nehmen. In dieser Beziehung haben die Vereinigten Staaten von Amerika eigene Wege beschritten. Dort sind die Flugzeugtypen fast allgemein mit abbremsbaren Laufrädern vorn und hinten statt eines Landesporns hinten ausgestattet. Dadurch, daß jedes Rad einzeln abgebremst werden kann, wird eine große Manövrierfähigkeit erzielt und das Starten und Landen auch auf kleinen Flächen erleichtert. Es werden augenblicklich dort umfassende Versuche mit Flugzeugradbremsen gemacht, um die Wirkung der Bremsen auf die Verzögerung und die Rolldauer nach dem Landen festzustellen. Neben der Abbremsung beim Landen ist ein weiteres Problem, durch künstliche Mittel beim Starten die Relativgeschwindigkeit der Flugzeuge zu erhöhen und damit die Startlängen abzukürzen. Alle diese Bestrebungen betriebstechnischer Art dienen dazu, bei der beschränkten Zahl wirklich geeigneter Flächen einer weiteren Vergrößerung oder Vermehrung der Flugplätze in der Nähe von Großstädten vorzubeugen.

Die Frage der Verbindung eines Landflughafens mit einem Seeflughafen in einer Form, die den Übergang des Gutes unmittelbar gestattet, ist vielfach so gelöst, daß beide Flughäfen nebeneinander liegen. In den Vereinigten Staaten von Amerika werden für Land- und Wasserlandung Amphibien verwendet, bei denen das aufklappbare Fahrgestell zwei Stummel wie beim Dornier-Wal bildet. Verkehrstechnisch wird der Lufttransport über große Wasserflächen nicht unbedingt an die Häfen gebunden sein dürfen, da sonst durch unterbrochenen Verkehr Zeitverlust entsteht, sondern er wird tief in das Land hineingehen müssen. Ob dieser Forderung betriebstechnisch entsprochen werden kann, muß die technische Entwicklung klären.

Von besonderer Bedeutung ist eine gute Entwässerung des Rollfeldes, die einen schnellen Abfluß des Tageswassers gestattet und die Rollflächen ständig von Wasseransammlungen frei hält. Für den Nachtverkehr müssen Leuchtfeuer dem Flugzeugführer den Weg zeigen. Zu diesem Zweck müssen im Bereich des Flughafens alle Hindernisse durch eine möglichst eindeutige und wirkungsvolle Beleuchtung kenntlich gemacht werden. Ferner ist es wichtig, die Umrandung des Flughafens und die Landestelle, Windrichtung und Landerichtung dem Piloten durch geeignete, vielfach dem Eisenbahnsignalwesen angelehnte Lichtsignale anzugeben. Für die Beleuchtung eignet sich in ausgezeichneter Weise das in Amerika zuerst auf großen Bahnhöfen verwendete Flood-Licht<sup>5)</sup>, das den Flugplatz in wirkungsvolles, schattenloses Tageslicht taucht und keine Blendung des Führers verursacht.

b) Bauliche Ausgestaltung für die Bewegungsvorgänge 2. Ordnung.

Die Lage der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung zum gesamten Flughafengebiet richtet sich, wie wir gesehen haben, nach der

vorherrschenden Windrichtung und sollte erst in zweiter Linie bestimmt werden durch eine gute Verbindung zwischen dem Flughafen und der Stadt. Die Fläche umfaßt alle baulichen Anlagen, die zur maschinentechnischen Wartung und Unterhaltung sowie zur verkehrstechnischen Abfertigung der Flugzeuge nötig sind: Flugzeughallen, kleinere Werkstätten, Tankanlagen, Flugsteige, Abfertigungsgebäude für das Verkehrsgut und Betriebsräume für den eigentlichen Flugbetrieb. Die Gruppierung all dieser Anlagen muß so sein, daß die Flugzeuge möglichst wenig und kurze Wege zurückzulegen haben und daß die Reisenden und die Fracht schnell und sicher abgefertigt werden können. Es ergeben sich hierbei zwei charakteristische Gesichtspunkte, je nachdem der Flughafen vorwiegend für den Durchgangs- oder Endverkehr dient. Bei einem Flughafen für Durchgangsverkehr gestaltet sich die Abfertigung der Flugzeuge am einfachsten, da die Mehrzahl der angekommenen Flugzeuge ihre Fahrt fortsetzen kann. Bei einem Flughafen für Endverkehr sind zahlreiche Bewegungsvorgänge endender und anfängender Flugzeuge zu nehmen, die so geleitet werden müssen, daß die Übersichtlichkeit und schnelle Durchführung der Bewegungen nicht leidet.

Der dem Rollfelde, also der Fläche für Bewegungsvorgänge 1. Ordnung am nächsten liegende Teil der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung ist der Flugsteig, an den die Flugzeuge zur Übernahme des Verkehrsgutes gebracht werden müssen. Die Rücksicht auf die Sicherheit der Reisenden verlangt heute noch besondere Maßnahmen, um Beschädigungen von Menschen durch die Bewegungen der Flugzeuge und der Propeller zu verhindern. In dieser Beziehung sind die Pontons oder Anlegesteige bei Seeflughäfen bahnteigartige Anlagen, die den Reisenden den größten Schutz bieten. In ähnlicher Weise wird durch hochliegende Zungenflugsteige auch bei Landflughäfen dem Publikum gesicherter Zugang zum Flugzeug geboten werden müssen. Solange das nicht der Fall ist, muß unter erheblichem Personalverbrauch das Reisepublikum zum Ein- und Aussteigen begleitet werden.

Vor allem bei Durchgangsflughäfen muß während des Aufenthalts der Flugzeuge am Flugsteig Gelegenheit zur Ergänzung der Betriebsstoffe oder zum Tanken gegeben werden. Weiterhin sind in der Nähe der Flugzeughallen Tankstellen vorzusehen. Bei der Herrichtung leistungsfähiger und betriebsicherer Tankanlagen sind weniger Konstruktionschwierigkeiten zu überwinden, da mittels Unterflurzapfstellen und

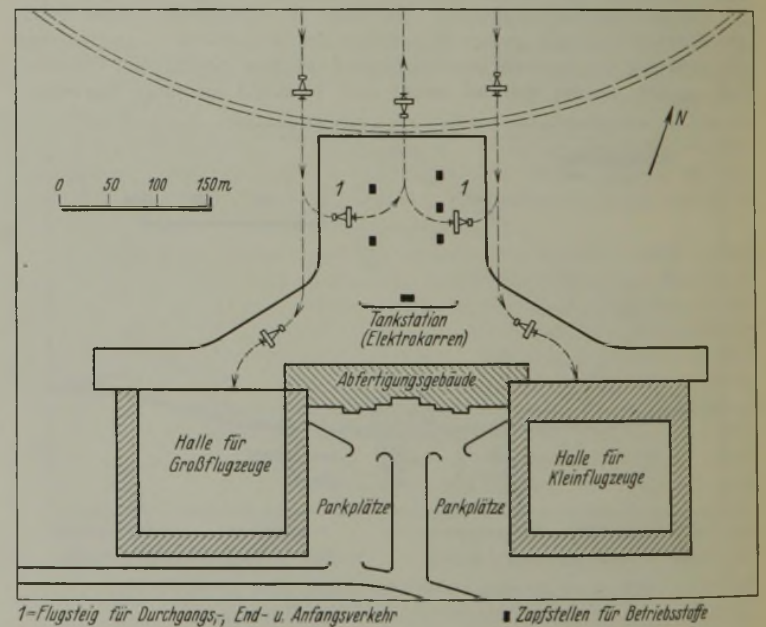


Abb. 9. Bauliche Ausbildung der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung. Flughafen Halle-Leipzig mit vorwiegend Durchgangsverkehr.

Leitungen die Betriebsstoffe nach jeder Stelle der Flugsteige und -hallen geleitet werden können, als vielmehr Gefahrquellen zu beseitigen. Benzin- oder Benzoldampf gibt mit Sauerstoff der Luft gemischt bei einer bestimmten Zusammensetzung ein explosives Gasgemisch. Die Betriebsstoffe müssen also so gelagert werden, daß die Möglichkeit einer Explosion ausgeschaltet ist. Diese Frage ist heute weitgehend gelöst, wobei die überall durchgeführte unterirdische Lagerung der Brennstoffe günstig wirkt. Da in internationalen Flughäfen fast jeder Motor ein anderes Betriebsstoffgemisch gebraucht, so sind besondere Vorrichtungen notwendig, um die jeweilige Zusammensetzung des Brennstoffs liefern zu können.

Alle Flächen, auf denen sich das Publikum bewegt, sowie Gepäck, Post und Fracht verladen werden muß, bedürfen einer guten Befestigung. Zu den Flugsteigen müssen in organischem Zusammenhang das Ab-

<sup>3)</sup> „Aviation“ vom 29. 12. 28, Heft 27, S. 2108.

<sup>4)</sup> „Eng. News-Rec.“, Band 101, S. 89 vom Juli 1928.

<sup>5)</sup> „Aviation“ vom 6. 10. 1928, Heft 50, S. 1094. Arthur Ford, „Airport-Lighting“.

fertigungsgebäude und die Flugzeughallen stehen, da sie gleichsam die Mittler für die verkehrliche Benutzung und betriebsichere Bereitstellung der Flugzeuge darstellen. Es bedarf eingehender betriebswissenschaftlicher Untersuchungen, um für die Durchgangs- und Endflughäfen grundsätzlich richtige Lösungen für einen wirtschaftlichen Betrieb und eine reibungslose Abwicklung des Verkehrs in der Nähe des Abfertigungsgebäudes und der Flugzeughallen zu finden. Ganz allgemein aber sollte die Anlage für die verkehrstechnische Abfertigung getrennt von den Flughallen angelegt werden, erstens damit die Verkehrsabfertigung nicht

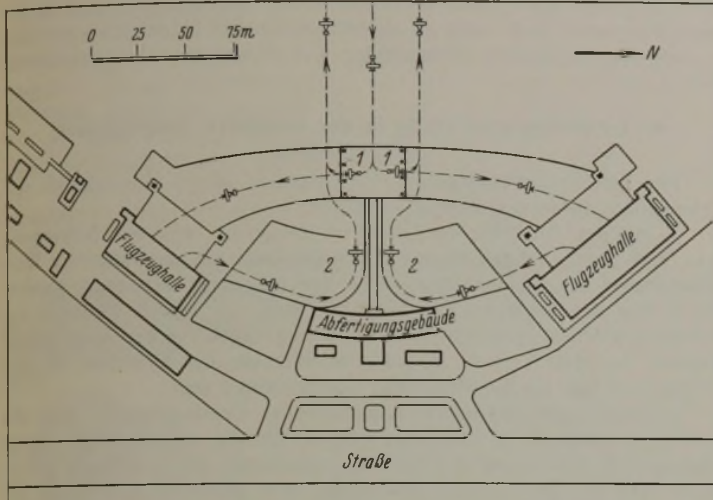


Abb. 10. Bauliche Ausbildung der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung. Flughafen Hamburg mit vorwiegend Endverkehr.

behindert wird durch die technische Abfertigung, und zweitens damit grundsätzlich Arbeiten am Flugzeug unter klarer Arbeitsteilung von den verschiedenen Personalgruppen erledigt werden können.

Als Beispiel für eine zweckmäßige Gruppierung der Baulichkeiten in der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung für einen Flughafen mit vorwiegend Durchgangsverkehr ist in Abb. 9 der Flughafen Halle-Leipzig dargestellt und mit vorwiegend Endverkehr in Abb. 10 der

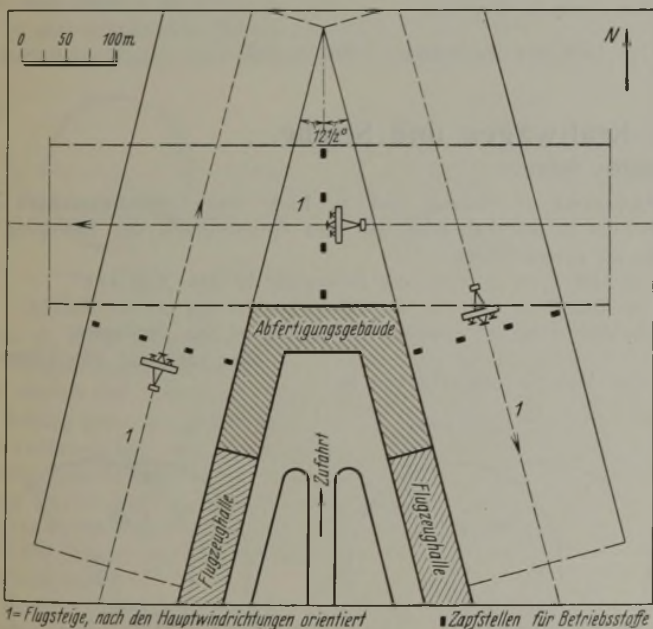


Abb. 11. Bauliche Ausbildung der Fläche für Bewegungsvorgänge 2. Ordnung. Flughafen nach französischem Vorschlag.

im Bau befindliche Flughafen Hamburg. Aus den eingezeichneten Bewegungsbahnen der Flugzeuge ist zu erkennen, daß die verschiedenen Bewegungs- und Abfertigungsvorgänge sich wenig behindern und schnell abwickeln können. In der Lage der Flugzeughallen zum Abfertigungsgebäude weist Hamburg die zweifellos bessere Lösung auf, denn hier haben Abfertigungsgebäude und Hallen in gleicher Weise genügend Erweiterungsmöglichkeiten, ohne daß die Verbindung zwischen beiden erschwert ist. Ein in Abb. 11 wiedergegebener französischer Vorschlag zeigt eine interessante Orientierung der Flugsteige nach der Windrichtung. Der Flugsteig ist ähnlich der Abb. 4 mit Abfertigungsgebäude weit nach

der Platzmitte vorgeschoben, so daß von den Flugsteigen aus die Flugzeuge ohne Richtungsänderung zum Start abrollen können.

Als Beispiel für die Raumverteilung eines Abfertigungsgebäudes ist in Abb. 12 das Gebäude des Flughafens Köln dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die eigentlichen Verkehrsräume wie Vorhalle, Fahrkartenschalter und Warterräume erheblich zurücktreten gegenüber den Diensträumen für Verwaltung und Betrieb. Zum Teil erklärt sich dieses Verhältnis aus einer heute noch vielfach bestehenden starken Zersplitterung der auf den Flughäfen zu leistenden Arbeiten auf vier verschiedene Stellen, dann aber auch aus der verhältnismäßig geringen Verkehrsdecke, die der Luftverkehr zu bedienen hat. Flugbetriebstechnisch zusammenhängende Gebiete wie Flugsicherung, Abfertigung, Wetter- und Funkdienst, sowie

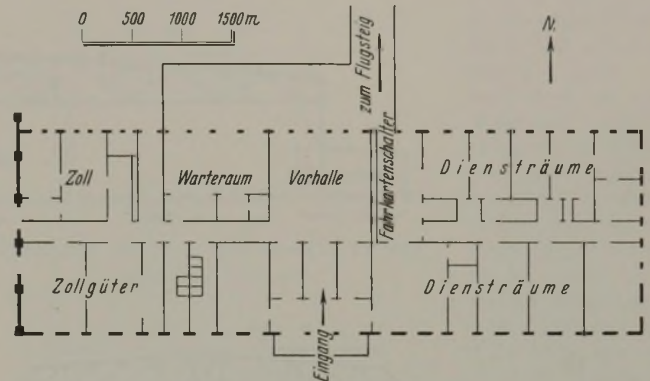


Abb. 12. Abfertigungsgebäude des Flughafens Köln.

Flughafenbetrieb werden in verschiedenen Ländern von selbständigen und organisatorisch voneinander unabhängigen Dienststellen im Raum des Flughafens erledigt, so daß die rationelle Ausnutzung der Kräfte in keiner Weise möglich ist.

Eine gedrängtere Form eines Abfertigungsgebäudes zeigt Abb. 13 für das Gebäude des Flughafens Croydon (London)<sup>6)</sup>. Die Verkehrswege sind hier klar den Reisenden vorgezeichnet in Ankunft und Abfahrt, die Räume für Fracht bereits losgelöst von der Personenabfertigung und nach Empfang und Versand getrennt. Die Diensträume befinden sich in der Hauptsache über dem Erdgeschoß. Die Grundrißanordnung muß vom verkehrstechnischen Standpunkt aus als besonders zweckmäßig angesprochen werden, da der Reisende auf dem Wege zum Flugsteig zwangsläufig an allen für ihn wichtigen Räumen vorbeigeführt wird und auch

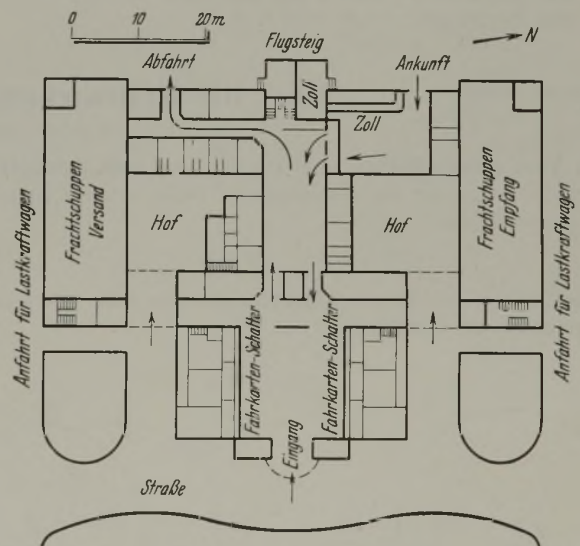


Abb. 13. Abfertigungsgebäude des Flughafens Croydon (London).

die Zollabfertigung sich organisch den übrigen Räumen anpaßt. Diese Tiefenausdehnung des Abfertigungsgebäudes hat gegenüber der Lösung in der Breite auch noch den Vorzug, daß das Gebäude die Einschwebezone der Flugzeuge möglichst wenig beengt.

Die größten Gebäude eines Flughafens sind die Flugzeughallen, die dem technischen Betrieb dienen zur Unterbringung der Flugzeuge und Vornahme von kleinen Reparaturen. Auch mit der Zunahme der Abmessungen der Flugzeuge werden auf bestimmten Flughäfen Hallen für Überholungen nicht entbehrt werden können, da im Interesse der Betriebsicherung alle Ausbesserungsarbeiten mit besonderer Sorgfalt unter Dach und Fach durchgeführt werden müssen. Auf kleinen Flughäfen

<sup>6)</sup> „The Aeroplane“ vom 9. 5. 28, Nr. 19, 660.

und Zwischenstationen werden die Hallen mit der Zeit entbehrt werden können, soweit sie nicht zum Unterstellen von Leicht- und Kleinflugzeugen notwendig sind.

Vom Standpunkte des Flugbetriebs und der Ausbesserungsarbeiten müssen die Hallen besonderen Anforderungen genügen. Zu jeder Halle gehört ein breites befestigtes Vorfeld, auf dem die Flugzeuge zeitweise aufgestellt und rangiert werden können. Ein großer stützenfreier Raum muß überbaut und durch große freie Toröffnungen zugänglich sein. Die Rücksicht auf den Flugbetrieb verlangt möglichst niedrige und flache Hallen, um das Einschweben der Flugzeuge möglichst wenig zu behindern. Die Größe der Hallen richtet sich nach den Spannweiten der aufzunehmenden Flugzeuge, die heute 50 bis 60 m betragen. Es sind Flugzeughallen mit lichten Toröffnungen bis zu 80 m Breite und 9 bis 12 m Höhe gebaut worden bei 40 m Tiefe der Hallen. Am zweckmäßigsten ist die große rechteckige Halle zur Aufnahme mehrerer Flugzeuge vom größten Typ. Der schwierigste Teil der Hallen ist die Torkonstruktion, da eine Fläche von 60 bis 80 m Länge und 9 bis 12 m Höhe schnell und leicht geöffnet und geschlossen werden muß. Am besten bewährt haben sich Falttore, nicht Schiebetore, die in geöffnetem Zustande über die Halle hinausragen und so das Einschwebefeld zeitweise einengen. In der gemäßigten Zone sind alle Hallen mit Heizung zu versehen. Über die konstruktive Durchbildung der Flugzeughallen sind in der Literatur eingehende Abhandlungen über zum Teil ausgezeichnete Lösungen erschienen<sup>7)</sup>.

Eine betriebs- und bautechnisch günstige Lösung stellt die in Abb. 14 dargestellte Flugzeughalle des Flughafens Kiel-Voßbrook<sup>8)</sup> mit 35 × 8 m

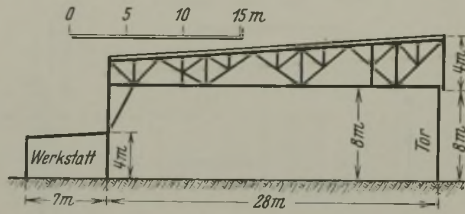


Abb. 14. Querschnitt durch die Flugzeughalle in Kiel-Voßbrook.

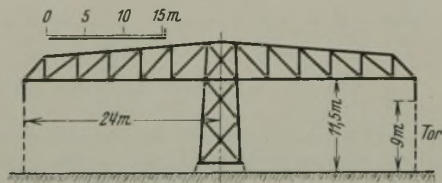


Abb. 15. Querschnitt durch die Ford-Flugzeughalle in Detroit.

lichter Toröffnung dar und die Ford-Flugzeughalle in Detroit<sup>9)</sup> nach Abb. 15 mit 120 × 9 m lichter Toröffnung. Letztere Halle bietet eine sehr interessante Lösung für die schwierige Ausbildung der Torseite. Die Tragkonstruktion für das Dach besteht aus vier kräftigen Mittelstützen und beiderseitigen Auslegebindern bis zu den Außenlängsseiten. Dadurch wird für die Einfahrt der Flugzeuge in die Halle und auch für die Längsbewegung innerhalb der Hallen eine große Bewegungsfreiheit erzielt.

Ganz allgemein wird wie bei allen Verkehrsanlagen bei den Flächen für die Bewegungsvorgänge 1. und 2. Ordnung auf Erweiterung der Anlagen besonders Rücksicht zu nehmen sein. Die Betriebserfahrungen im Luftbetrieb sind noch in keiner Weise abgeschlossen, auch ist für einen Flughafen noch nicht zu übersehen, welchen betrieblichen Zwecken er endgültig im großen kontinentalen und transozeanen Luftverkehrsnetz dienen soll.

4. Entwicklungsrichtung in der baulichen Ausgestaltung von Flughäfen.

Für die Weiterentwicklung der Flughäfen lassen sich folgende Gesichtspunkte zusammenfassend aufstellen:

1. Mit der Zunahme der Größe der Flugzeuge wird eine Befestigung der Start- und Landebahnen in Verbindung mit konstruktiven Verbesserungen der Landevorrichtungen der Flugzeuge notwendig werden.
2. Mit der Zunahme des Verkehrs wird eine scharfe Trennung der technischen Abfertigungsarbeiten an den Flugzeugen von den Abfertigungsarbeiten für den Verkehr sowohl im Interesse der Sicherheit für den Flugbetrieb wie für die Reisenden durchzuführen sein.
3. Eingehende betriebswissenschaftliche Untersuchungen über die Bewegungsvorgänge 2. Ordnung müssen für die zweckmäßigste Gruppierung und Ausbildung der Abfertigungsanlagen die Grundlagen geben. Sie werden bei der großen Bedeutung einer schnellen Abfertigung mit dem Ziel durchgeführt werden müssen, Kreuzungen von Bewegungen möglichst zu vermeiden und die Arbeiten möglichst wirtschaftlich zu gestalten.
4. In verkehrstechnischer Hinsicht wird eine Trennung zwischen dem Personenverkehr einerseits und dem Post- und Frachtverkehr andererseits rechtzeitig vorzunehmen sein, wenn der Verkehrsumfang es erfordert. Genügend freie Fläche für die spätere Durchführung dieser Trennung ist vorzusehen. Auch eine Gliederung der Flugsteige nach Nah- und Fernverkehr im Sinne der Luftabmessungen ist ins Auge zu fassen. Im Interesse der Sicherheit der Reisenden sollten auf Landflughäfen erhöhte Flugsteige ähnlich gesicherte Standorte bieten wie die Anlegestege bei Seeflughäfen. Unterirdische Zugänge zu den Flugsteigen kommen bei dichtem Verkehr in Frage.

<sup>7)</sup> „Die Bautechnik“ 1928, S. 294 und 1929, S. 22.  
<sup>8)</sup> „Die Bautechnik“ 1929, Heft 2, S. 22.

<sup>9)</sup> „Deutsche Bauzeitung“ 1928, S. 102.

Alle Rechte vorbehalten.

Über die Kraftwirkung zwischen Kraftwagen und Straße.

Von Professor Karl J. Kriemler, Stuttgart.

I. Vom reinen Rollen, vom Gleiten und vom Schlüpfen.

Legt das Automobil bei gleichförmiger Fahrt  $V$  km/h zurück, so ist seine Geschwindigkeit

$$v = \left(\frac{V}{3,6}\right) \text{ m/sek.}$$

Macht dabei das Rad  $n$  Umdrehungen/min, so ist seine Drehgeschwindigkeit um seine Achse

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \frac{1}{\text{sek.}}$$

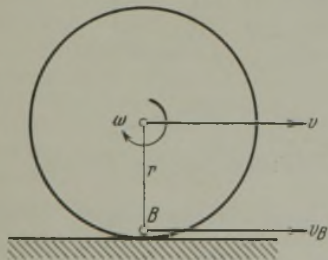


Abb. 1.

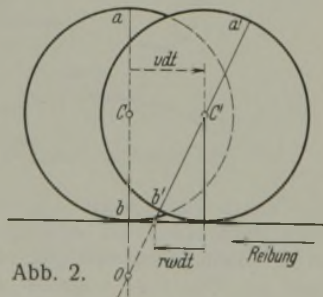


Abb. 2.

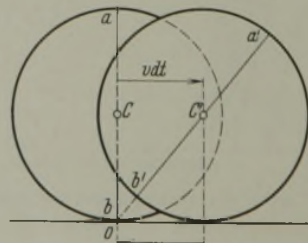


Abb. 3.

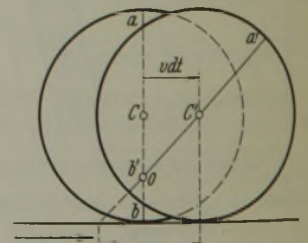


Abb. 4.

Die Geschwindigkeit des Punktes B des Radumfanges, der augenblicklich mit der Straße in Berührung ist, ist (Abb. 1)

$$v_B = v - r \omega;$$

wenn sie positiv ist, hat sie den Pfeilsinn von  $v$ , d. h. den der Fahrt. Man denke sich auf das Rad den augenblicklich rechtwinklig zum Boden stehenden Durchmesser farbig aufgemalt. Im nächsten Augenblick wird dieser farbig durchmesser sich fortbewegt und schiefgestellt haben. Je nach der Lage  $O$  des Schnittpunktes der zwei Stellungen dieses

Durchmessers zu Anfang und zu Ende eines verschwindenden Zeitelementes  $dt$  sek hat man die drei Grundformen der Bewegung des Rades zu unterscheiden:

- In Abb. 2 ist  $v > r \omega$ , die Bewegung ist das „Gleiten“.
- In Abb. 3 ist  $v = r \omega$ , die Bewegung ist das „reine Rollen“.
- In Abb. 4 ist  $v < r \omega$ , die Bewegung ist das „Schlüpfen“ oder „Mahlen“ oder „Spinnen“.

Das Maß für das Gleiten ist

$$100 \cdot \frac{v dt - r \omega dt}{v dt} = \alpha \%$$

das Maß für das Schlüpfen ist

$$100 \cdot \frac{r \omega dt - v dt}{r \omega dt} = \beta \%$$

Wenn auf der Fahrt der Abstand zweier Stationen  $s$  m ist, dann ist auf diesem Weg die Anzahl Umdrehungen des Rades beim reinen Rollen

$$\frac{s}{2 \pi r}$$

beim Gleiten aber herabgemindert

$$\frac{s \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)}{2 \pi r}$$

beim Schlüpfen hingegen vergrößert

$$\frac{s}{2 \pi r \left(1 - \frac{\beta}{100}\right)}$$

Beim Gleiten ist die Reibung der Straße am Rade rückwärts gerichtet, beim Schlüpfen ist sie vorwärts gerichtet, beide Male nimmt sie den Größtbetrag an. Beim reinen Rollen, wo  $O$  in der Fahrbahn liegt, ist Reibung der Ruhe. In der Ruhe wird nur soviel Reibungskraft ausgelöst, als zur Aufrechterhaltung der Ruhe erforderlich ist, sie kann alle Werte annehmen zwischen Null und dem größtmöglichen Betrag, und sie kann vorwärts oder rückwärts gerichtet sein, je nachdem die Ruhe den Charakter eines latenten Schlüpfens oder eines latenten Gleitens hat. Beim rein rollenden Treibrad ist latentes Schlüpfen, beim rein rollenden Laufrad ist latentes Gleiten vorhanden.

**II. Vom größtmöglichen Betrag der Reibung.**

Überträgt das betrachtete Rad den Normaldruck  $N$  kg auf die Straße, und ist  $\mu$  die Reibungszahl, so ist der größte Wert, den die Reibung überhaupt annehmen kann:

$$\mu N \text{ kg.}$$

In Abb. 5 ist die Draufsicht auf ein Rad gezeichnet, und um den theoretischen Berührungspunkt  $B$  ist ein Kreis gezeichnet mit dem Halbmesser  $\rho = \mu N$  kg. Die Reibung kann irgend ein Strahl in diesem Kreise sein.

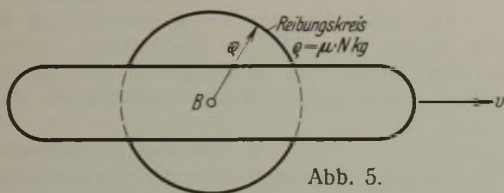


Abb. 5.

Fährt nun das Auto mit allen Rädern auf einer quer zur Fahrt geneigten Fahrbahn, so muß die Tangentialkomponente der vom Rad übertragenen Schwere von einer quer gerichteten Reibungskomponente  $R_q$  aufgenommen werden (Abb. 6).

Beim rollenden Rad mit latentem Gleiten ist  $R_g$  der in diesem Fall noch zur Verfügung stehende größte Betrag der Reibung in der Fahrtrahlinie, beim latenten Schlüpfen ist er  $R_s$ .

Ist aber tatsächliches Gleiten oder Schlüpfen vorhanden, so kann ein Abrutschen des Wagens nach der Quere nicht verhindert werden, es bleibt

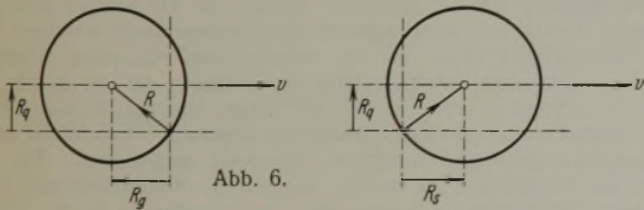


Abb. 6.

für ein  $R_q$  nichts übrig, denn  $R_g$  bzw.  $R_s$  sind dann ohne weiteres die in der Fahrtrahlinie liegenden Halbmesser  $\mu N$  kg des Reibungskreises. Es besteht nämlich das Naturgesetz, daß bei vorhandener Geschwindigkeit  $v_B$  die Reibung ganz in der Richtung von  $v_B$  ihr entgegengerichtet ist und ihren Größtwert hat. Nach der Richtung der Querbewegung ist keine Reibung mehr vorhanden, die Querbewegung kann unbehindert eintreten; sie ist beim gebremsten Hinterrad eine Erscheinungsform des „Schleuderns“, sofortiges Lösen der Bremse stellt das reine Rollen und damit die Reibung der Ruhe wieder her, die eine Komponente  $R_q$  nach der Quere zuläßt.

Ähnliche Zustände treten auf, wenn in einer Kurvenfahrt das Hinterrad gebremst wird oder das Vorderrad ins „Schieben“ kommt; im ersten Fall kommt der Wagen ins „Schleudern“, im zweiten Fall ins „Schwimmen“, wobei er der Lenkung nicht mehr gehorcht.

Ich habe eine Brücke gekannt, bei der die Klötzchen des Holzpflasters durch das latente Schlüpfen der Treibräder in dem rechten und in dem linken Fahrstreifen nach entgegengesetzten Seiten schief gestellt worden waren.

**III. Vom Lenken des Kraftwagens.**

Das Kurvenfahren im Grundriß wird dadurch ermöglicht, daß die vorderen Räder gegen die Achse schief gestellt werden können, und daß durch das Ausgleichgetriebe in der Achse der hinteren Räder diese ungleiche Drehgeschwindigkeiten annehmen können. Sofern die Reibung zwischen Bahn und Laufrädern genügt, rollen diese, wenn sie schiefgestellt worden sind, seitlich in ihrer eigenen Ebene hinaus; nur wenn

die Reibung nicht genügt, werden sie noch dazu rechtwinklig zu ihrer Ebene „geschoben“ (Abb. 7).

Vergleichshalber sei folgendes Beispiel herangezogen (Abb. 8):

Ein wagrecht in seiner eigenen Achsenlinie fliegender gerader Stab treffe auf eine lotrechte, gegen die Stabachse schräg gestellte feste, aber vollkommen glatte Wand auf. Durch den Stoß entsteht der Rückdruck

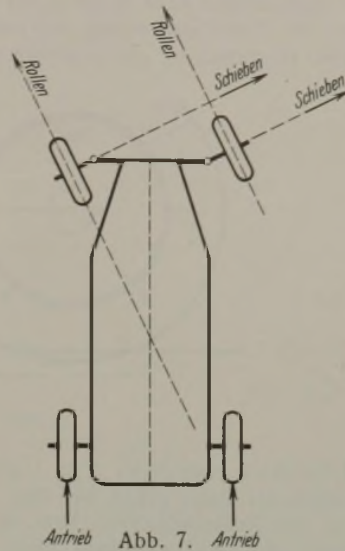


Abb. 7.

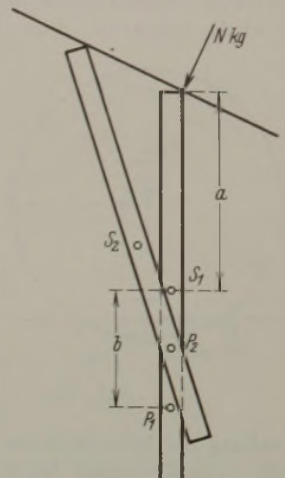


Abb. 8.

$N$  kg, und die Spitze rutscht entlang der Wand seitlich ab. Der einzige Punkt des Stabes, der bei diesem Vorgang noch weiter geradeaus fliegt, ist der Punkt  $P$ , dessen Abstand vom Schwerpunkte  $S$  die Größe hat

$$b = \frac{\rho^2}{a},$$

worin  $\rho$  der Trägheitshalbmesser der Masse des Stabes um seinen Schwerpunkt ist. Dieser Punkt  $P$  wird der Prellpunkt genannt.

Beim Kraftwagen ersetzen die schräg gestellten Vorderräder die schräge Wand, sofern genügende Reibung das Abschieben verhindert. Auch beim Kraftwagen gibt es einen Prellpunkt; er ist aber nach einem anderen Gesetz aufzusuchen, weil beim Kraftwagen, sobald die Hinterräder infolge der Prellung hinausgleiten wollen, diese durch eine neu hinzukommende quergerichtete Reibungskraft abgefangen werden, vorausgesetzt, daß die Reibung genügt.

Die Drehung der Vorderräder durch die Lenkung erzeugt zwischen Rad und Straße bohrende Reibung. Da beim rollenden Rad die Unebenheiten von Rad und Straße keine Zeit haben, ganz innig ineinander einzudringen, so ist während der Fahrt das zum Drehen der Vorderräder gegen die bohrende Reibung erforderliche Moment am Lenkrade kleiner, als wenn man sie beim stehenden Wagen drehen wollte. Man sieht, warum am Eingang und am Ausgang einer Kurve die Straßenoberfläche sehr notleidet.

Vorstehendes bezog sich auf die Einleitung einer Kurvenfahrt. Wenn die Fahrt als Dauerfahrt in der Kurve weitergehen soll, so erfährt der Prellpunkt als einziger eine korrekte Kreistranslation, und der Wagen dreht sich dabei um ihn. Unter den üblichen Umständen kann als Prellpunkt  $P$  der

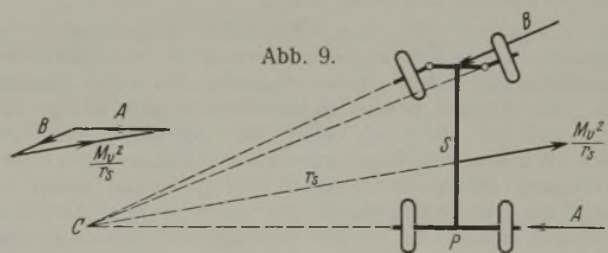


Abb. 9.

Mittelpunkt der Hinterachse gelten. Ist  $M$  die Masse des Wagens mit allem Zubehör, so müssen die Rückdrücke  $A$  und  $B$  der Straßenoberfläche mit ihren Grundrissen der eingezeichneten Fliehkraft das Gleichgewicht halten (Abb. 9). Wie sich  $A$  und  $B$  auf die Räder einer Achse einzeln verteilen, hängt von der Höhenlage des Schwerpunktes  $S$  über der Straße ab. Streng genommen müßte auch das Gleichgewicht im Querriß in der Ebene der Hinterachse und das im Querriß in der Ebene der Vorderachse untersucht werden, es ist diese Untersuchung schon wegen der Feststellung der Kippsicherheit erforderlich.

Genügt die Reibung für die Grundrißkräfte  $A$  und  $B$  nicht, so schiebt der Wagen als Ganzes zur Kurve hinaus. An Reibung ist dabei nur verfügbare, was im Reibungskreis Abb. 6 nicht schon verwendet ist.

IV. Vom Rollwiderstande.

In den vorstehenden Betrachtungen ist streng genommen für  $r$  nicht der geometrische Halbmesser  $r_a$  des Radumfanges, sondern ein wegen der Abflachung des Reifens verkleinerter Halbmesser einzusetzen. Beim reinen Rollen wird das Material des Reifens bei I (Abb. 10) mit der abwärtsgerichteten Geschwindigkeit  $v_I$  angeliefert, es wird elastisch auf den kleineren Halbmesser gestaucht; entsprechend kann es bei II mit der aufwärtsgerichteten Geschwindigkeit  $v_{II}$  der Zusammenpressung entweichen und wieder aufquellen. Von I bis B ist, verglichen mit der gleichförmigen

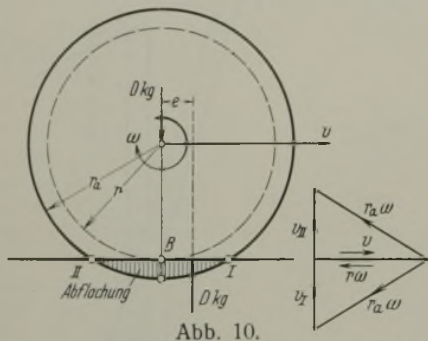


Abb. 10.

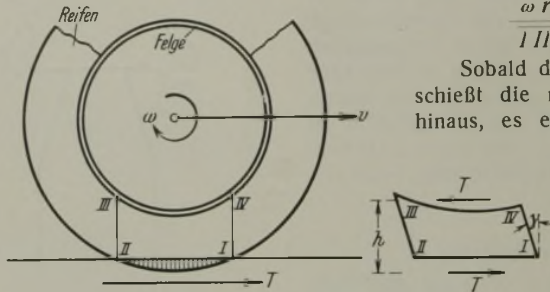


Abb. 11.

Verteilung des Normaldruckes, ein Überdruck, von B bis II ist Unterdruck. Die Resultante des Rückdruckes der Bahn gegen das Rad bekommt dadurch eine Versetzung vor den Radmittelpunkt. Man nennt das Moment  $D e$  kgm das Moment des Rollwiderstandes, es wirkt der vorhandenen Drehgeschwindigkeit  $\omega$  entgegen und ist sowohl beim Laufrad als auch beim Treibrad vorhanden.

Das Material, das bei II der Stauchung entweicht, schießt über das Ziel hinaus und kommt dadurch in innere Schwingungen nach Art der Schallschwingungen; sie gehen bald in Wärmeschwingungen über, die Reifen werden bei der Fahrt warm.

Die Treibräder geraten noch dazu in eine zweite Art innerer Schwingungen. Das unterste Element des Reifens des Treibrades (Abb. 11)

erfährt zwischen Felge und Straße eine Eckung. Die Diagonale IV-III wird gestaucht, die Diagonale I-III wird gestreckt. Das Moment  $T h$  dreht dem  $\omega$  entgegen, die innere Arbeit ist  $T h \gamma$  kgm. Auf 1 cm des Umfanges entfallen davon

$$\frac{T h \gamma \text{ kgm}}{111 \text{ cm}}$$

und weil in der Sekunde an Umfang

$$\omega r \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$$

angeliefert werden, so ist der sekundliche Arbeitsverlust

$$\frac{\omega r}{111} \cdot T h \gamma \frac{\text{kgm}}{\text{sek}} = \frac{1}{75} \cdot \frac{\omega r}{111} \cdot T h \gamma \text{ PS.}$$

Sobald das unterste Element vom Boden wieder freikommt, schießt die rückgängig werdende Verformung über das Ziel hinaus, es entstehen zuerst elastische Schwingungen, die in molekulare Wärmeschwingungen übergehen. Der Reifen wird warm. Allseits wird die Erfahrung berichtet, daß der durch Walkarbeit warmgewordene Reifen aus Gummi starrer wird. Beim laufenden Wagen soll z. B. in Abb. 10 die Strecke I-II kürzer sein als beim stehenden Wagen; dadurch wird natürlich während der Fahrt der Einheitsdruck auf die Straße vergrößert.

Die Erwärmung der Reifen geschieht auf Kosten der Pferdestärken des Motors, die in Wärme übergeführte Leistung wird mit zum Rollverlust gezählt, zu dem natürlich auch die Reibungswärme der Radachsen gehört und die Widerstandsarbeit des Rollmomentes von Abb. 10.

V. Von den Pendelungen.

Zufällige Unebenheiten in der Straßenoberfläche, zu überschreitende Schwellen, grobes Anfahren und grobes Bremsen veranlassen Pendelungen des Wagens in seinen Federn. Mit den Pendelungen verbunden sind Trägheitswirkungen, die hammerschlagartig die Fahrbahn angreifen. Passiert das bei jedem Wagen, der vorbeikommt, so ist die Fahrbahn bald zerstört.

Alle Rechte vorbehalten.

Wirtschaftliche Linienführung von Kraftverkehrsstraßen.

Von Dr.-Ing. E. Neumann, Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Die alte Schule des Straßenbaues hat bei der Linienführung auf die Zugkraft von Zugtieren Rücksicht nehmen müssen. Diese ist begrenzt. In Steigungen muß damit gerechnet werden, daß das Zugtier einen Teil seiner Zugkraft aufwenden muß, um sein Eigengewicht aufwärts zu bewegen. Auf steilen Strecken steht Gewicht der Nutzlast zum Gewichte des Zugtieres und des Wagens in einem sehr schlechten Verhältnis. Eine wirtschaftliche Linienführung verlangt daher nach dem bekannten Gesetze von Launhardt, daß bei richtiger Anordnung gleichzeitig der Nutzladung wie der Ansteigung sich die Nutzlast zum Gewichte des unbeladenen Fuhrwerkes einschließlich seiner Bespannung bei Bergfahrten verhalten muß wie die Steigung zu dem Fahrwiderstand

$$\frac{Q}{Q_0 + G} = \frac{s}{K}$$

$Q$  = Nutzlast,  $Q_0$  = Wagengewicht,  $G$  = Gewicht des Pferdes,  $s$  = Steigung in ‰,  $K$  = Fahrwiderstand in kg f. 1 t.

Der Kraftwagen hat diese Grundlagen umgestaltet. Der hohe Leistungsüberschuß im Kraftwagenmotor ermöglicht, auch starke Steigungen mit verhältnismäßig hohen Geschwindigkeiten bei voller Auslastung zu nehmen. Ein etwaiger höherer Betriebsstoffverbrauch schlägt nicht sehr zu Buch, weil der Motor bei Vollast den geringsten spez. Brennstoffverbrauch hat und außerdem unter den anderen Unkosten des Kraftwagens, wie Verzinsung und Abschreibung, Bereifung, Führer, Steuer und Versicherung, der Brennstoffverbrauch nur einen geringen Einfluß auf die Betriebskosten ausübt. Es hat sich herausgestellt, daß infolgedessen die Fahrzeit die Wirtschaftlichkeit eines Kraftwagens beeinflusst, d. h. welche Zeit er braucht, um zwischen zwei Ortschaften eine Last zu befördern, d. h. die tkm-Leistung in der Zeiteinheit. Es ist dann diejenige Linie im Vergleich mit anderen die wirtschaftlichste, die die kürzeste Fahrzeit hat. Dabei scheidet dann Steigungen und sogar verlorene Steigungen aus. Es gilt also nunmehr, die Grundlagen für die Fahrzeitberechnung zu geben.

Theoretische Grundlagen. Bei der Betrachtung sollen die Personenwagen, soweit sie nicht dem Massenverkehr dienen, ausscheiden und nur Lastkraftwagen, die dem Güterverkehr und Personenverkehr als Kraftomnibusse dienen, herangezogen werden. Man wird für eine Straßenanlage eine bestimmte Kraftwagenart auswählen, deren Leistungscharakteristik bekannt ist, d. h. die Leistung, die der Motor bei einer bestimmten

Umdrehungszahl und Gang aufweist. Kennt man die Leistung, die der Wagen bei voller Auslastung zur Überwindung des Fahrwiderstandes und der Steigung aufwenden muß, dann kann aus dem Fahrbild auf die Fahrgeschwindigkeit und bei gegebener Strecke auf die Fahrzeit geschlossen werden. Es läßt sich ferner auch der Brennstoffverbrauch berechnen, wenn die Verbrauchseinheiten für die verschiedenen Auslastungsverhältnisse gegeben sind. Um Fahrwiderstand und Steigung auf die gleiche Maßeinheit zu bringen, wird für den Kraftwagen die aus der Linienführung der Eisenbahn bekannte Widerstandshöhe eingeführt. Es wird die auf der Wagerechten geleistete Arbeit in Hubarbeit umgerechnet. Um diese Rechnung durchführen zu können, müssen die Widerstandswerte für die einzelnen Pflasterarten bekannt sein. Sie betragen in kg für 1 t nach neueren amerikanischen Untersuchungen

Pflasterart	$w$ kg/t
Beton . . . . .	= 12,7
Asphalttränkmakadam, etwa . . . . .	= 30,0
Stampfasphalt — Sandasphalt =	12,5
Beton mit 1 cm Asphaltbelag =	22,5
Steinschlagstraße, gut . . . . .	= 30,0
Teermakadam, angenommen zu =	25,0.

Handelt es sich um Lastkraftwagen mit Anhänger, von denen der Triebwagen einen Laufwiderstand  $w_1$  und ein Gesamtgewicht  $Q_1$ , der Anhänger den Laufwiderstand  $w_2$  und Gesamtgewicht  $Q_2$  hat, dann ist der mittlere Laufwiderstand

$$w = \frac{Q_1 w_1 + Q_2 w_2}{Q_1 + Q_2}$$

Diese Werte werden hier angeführt, da sie für die folgenden Berechnungen gebraucht werden. Krümmungswiderstände sollen nicht berücksichtigt werden. Die Widerstandshöhe ist dann für die Strecke  $l_1$

$$h_w = 0,001 w_1 l_1 \text{ tm.}$$

Hierzu treten noch die wirklich zu ersteigenden Höhen  $h_s$ . Die maßgebende Arbeitshöhe beträgt alsdann

$$H = h_w + h_s.$$

Die zu leistende Zugförderungsarbeit würde jetzt dieselbe sein, die der Motor eines Lastwagens zu leisten hat, der keinen Fahrwiderstand, sondern nur auf der Strecke  $l_1$  die Höhe  $H$  zu erklimmen hat. Für diesen



Fall kann das Steigungsverhältnis  $p_i$  berechnet werden.  $p_i = \frac{H}{l}$ . Die Höhe  $H$  ist für 1 t errechnet. Die Zugförderungsarbeit muß daher noch um das Gewicht des Lastzuges in  $t$  vermehrt werden.

Die Zugförderungsarbeit muß vom Kraftwagenmotor geleistet werden. Die Leistung des Motors in PS bei den verschiedenen Gängen und Geschwindigkeiten werden aus den Fahrlinien entnommen, die für jeden Motor bekannt sind. Der Leistungsüberschuß des Motors, der bei den verschiedenen Gängen zur Überwindung von Steigungen ausgenutzt werden kann, wird in besonderen Steigungslinien dargestellt, die sich aus der Formel errechnen:

$$s\% = \frac{3,6 \cdot 75 L_s \cdot 100}{Q \cdot V}$$

$L_s$  ist der Leistungsüberschuß in PS;  
 $V$  ist die Fahrgeschwindigkeit in km/h.

Diese Steigungslinien lassen die tatsächlichen Steigungen erkennen, die der Wagen vollausgelastet bei den verschiedenen Schaltgängen nehmen kann. Luftwiderstand und Rollverluste sind dabei von der Motorleistung abgezogen. Da in den vorhergehenden Ausführungen eine Steigung  $p_i$  als Maßstab für die Zugförderungsarbeit einschließlich des Fahrwiderstandes angenommen ist, würde es entsprechen, wenn aus dem Fahrtdiagramm des Kraftwagenmotors für die volle Leistung nach Abzug des Luftwiderstandes ein Steigungsdiagramm entworfen würde. Die Steigung würde sich nach der Formel errechnen

$$p_i\% = \frac{L \cdot 3,6 \cdot 75 \cdot 100}{Q \cdot V}$$

In dieser Formel ist  $L$  die gesamte Motorleistung bei der Geschwindigkeit  $V$  km/h nach Abzug des Luftwiderstandes. Der in der angenommenen Steigung  $p_i$  ausgedrückten Zugförderungsarbeit steht jetzt die als Steigung ausgedrückte Leistung des Motors gegenüber, und es kann nunmehr aus dem Steigungsdiagramm, in dem die Steigungen als Ordinaten, die Fahrgeschwindigkeiten km/h als Abszissen aufgetragen sind, entnommen werden, bei welcher Fahrgeschwindigkeit der Kraftwagen die Arbeit leistet, woraus wieder die Fahrzeit errechnet werden kann.

Um die Fahrzeit unmittelbar zu erhalten, wird noch eine Umrechnung empfohlen. Die Neigung  $p_i$  ist in  $\%$ , also auf 100 m Länge angegeben. Aus der Fahrgeschwindigkeit für die verschiedenen  $p_i$  kann nunmehr auf die Fahrzeit in sek selbst geschlossen werden. Die Leistung  $p_i$  in tm wird bei der Fahrgeschwindigkeit  $v$  m/sek vollbracht. Die Fahrzeit auf 100 m beträgt dann  $f = \frac{100}{v}$  sek, in der  $p_i$  geleistet werden oder 1 t  $p_i$  m

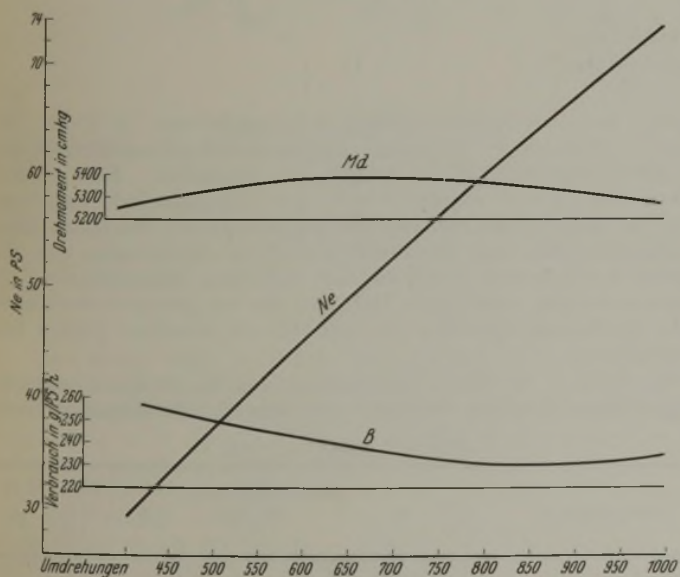


Abb. 1. Fahrtdiagramm eines Büssing-Motors für einen 11-t-Lastwagen.

gehoben wird. Um auf die Einheit zu kommen (Zahl der Sekunden, um 1 t 1 m hoch zu heben für die Neigung  $p_i$ ), muß  $f$  noch durch  $p_i$  geteilt werden ( $v$  in km/h),

$$f = \frac{100 \cdot 3,6}{v \cdot p_i} \text{ sek.}$$

Für diese Zwischenrechnung ist für einen 11-t-Lastwagen mit dem Fahrtdiagramm (Abb. 1) die Fahrzeitkurve (Abb. 2) berechnet.

Es muß noch ein Ausgleich der Kurven stattfinden. Mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit steigt der Leistungsüberschuß für Steigung in demselben Schaltgang bis zu einem Höchstwert, dann fällt er ab. Die Überschreitung des Höchstwertes nach unten ist der Augenblick, in dem der niedere Gang eingeschaltet werden muß. Einer Abnahme der

Geschwindigkeit in demselben Schaltgang entspricht ein langsamerer Lauf des Motors, er arbeitet mit geringerer Drehzahl. Da aber jeder Motor innerhalb bestimmter engbegrenzter Drehzahlen am wirtschaftlichsten arbeitet, ist es zweckmäßig, den Motor weder mit zu hoher, noch zu geringer Drehzahl laufen zu lassen. Das bedeutet, daß bei dem Befahren einer Steigung der niedere Gang schon eingeschaltet wird, ehe die Drehzahl des Motors zu weit abfällt. Zur Bestimmung der virtuellen Längen für Kraftwagen habe ich deshalb im „Neuzeitlichen Straßenbau“, Handbibliothek für Bauingenieure, Berlin 1927, Bd. 10, S. 78, Abb. 53, eine Ausgleichkurve für das Steigungsbild des Daag-Schnelllastwagens entworfen. Die Schwankungen in der Leistung innerhalb desselben Schaltganges machen sich auch in der Wellenform der Fahrzeitkurve bemerkbar. Hier könnte auch ein Ausgleich vorgenommen werden, etwa in der Weise, daß die Fahrzeitpunkte für eine bestimmte Drehzahl des Motors miteinander verbunden werden, damit eine stetige Kurve entsteht.

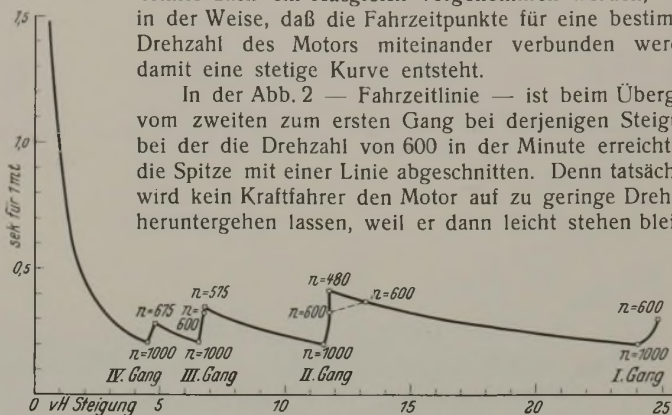


Abb. 2. Fahrzeitlinie für Büssing-11-t-Lastwagen.

kann. Er wird schon rechtzeitig vorher den niederen Gang einschalten. Welchen Einfluß das auf die Fahrzeitberechnung hat, soll an der Fahrzeitlinie mit einem Beispiel erläutert werden. Die Steigung  $p = 11,8\%$  liegt am Übergang vom zweiten zum ersten Gang. Für eine Tonne würde sich eine Fahrzeit von 0,4" ergeben. Der Motor arbeitet aber mit so geringer Drehzahl, daß der Fahrer durch Umschalten auf den ersten Gang eine höhere Drehzahl anstrebt. Diese wird erreicht bei einer Steigung  $p = 14,5\%$  und einer Fahrzeit von 0,33". Diese würde in die Fahrzeitrechnung einzusetzen sein. Der Neigung 14,5% entspricht eine größere Hubhöhe, zu der eine geringere Hubzeit gehört. Die Hubarbeit bleibt in beiden Fällen gleich, denn es ist

$$11,8 \cdot 0,41 = 14,5 \cdot 0,33 = 4,85 \text{ tm.}$$

Praktische Anwendung.

Für die Fahrzeitlinie der Abb. 2 ist die Fahrzeit für den Nürburgring, dessen Längenprofil durch die Abb. 3 wiedergegeben ist, für Hin- und Rückfahrt berechnet. Auf wagerechten und Gefällstrecken ist angenommen, daß eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h nicht überschritten wird.

Der Nürburgring ist deshalb gewählt, weil er Steigungen aufweist, wie sie auf anderen deutschen Straßen kaum zu finden sind, und die Steigungen und Gefälle wechseln. Der Nürburgring wird nur in einer Richtung befahren, und zwar so, daß die stärksten Steigungen (bis 17%) erklommen werden. Die stärkste Gefällstrecke beträgt nur 11%. Es ist nun der Versuch gemacht worden, unter Zugrundelegen der zuvor geschaffenen Fahrzeitlinien, eine Fahrzeitberechnung für den Nürburgring durchzuführen. Die sehr umfangreichen Tafeln dieser Berechnung sind hier nicht abgedruckt. Es soll nur das Ergebnis mitgeteilt werden. Der Nürburgring hat Beton-, Asphalttränk-, Teertränk-, Teermischmakadam- und Steinschlagdecken mit Oberflächenbehandlung (Vialit), für die die zuvor angegebenen Fahrwiderstandswerte zur Berechnung der Widerstandshöhe eingesetzt worden sind.

Für die Fahrzeit hat sich eine Fahrzeit von 1 h 14 min 32 sek und für die entgegengesetzte Richtung von 1 h 17 min 13 sek ergeben, obwohl auf der Rückfahrtrichtung die schwächeren Steigungen zu überwinden sind. Der Unterschied kann nicht auf Fehlerquellen in der Rechnung zurückgeführt werden, weil etwa die Werte aus Kurven entnommen sind; vielmehr werden solche Ungenauigkeiten sich gegeneinander ausgleichen. Der Unterschied beruht in der günstigeren Ausnutzung der Motorleistung auf den starken Steigungen.

Eine Kontrolle für dieses Ergebnis wird die Ermittlung des Brennstoffverbrauches sein. Aus der maßgebenden Arbeitshöhe, gemessen in tm, läßt sich auch sehr bald ein Schluß auf die Höhe des Brennstoffverbrauches ziehen. Die Arbeitshöhe ist für 1 t berechnet. Sie muß daher noch mit der Gesamtlast des Wagens von 11 t vermehrt werden. Da der Betriebsstoffverbrauch je nach der Leistung des Motors schwankt (s. Abb. 1), muß für jede Fahrstrecke die Motorleistung ermittelt werden.

$$L \text{ in PS} = \frac{H \cdot 11}{75 t} \text{ PS}$$

wobei  $t$  in sek die Fahrzeit auf der Strecke ist.

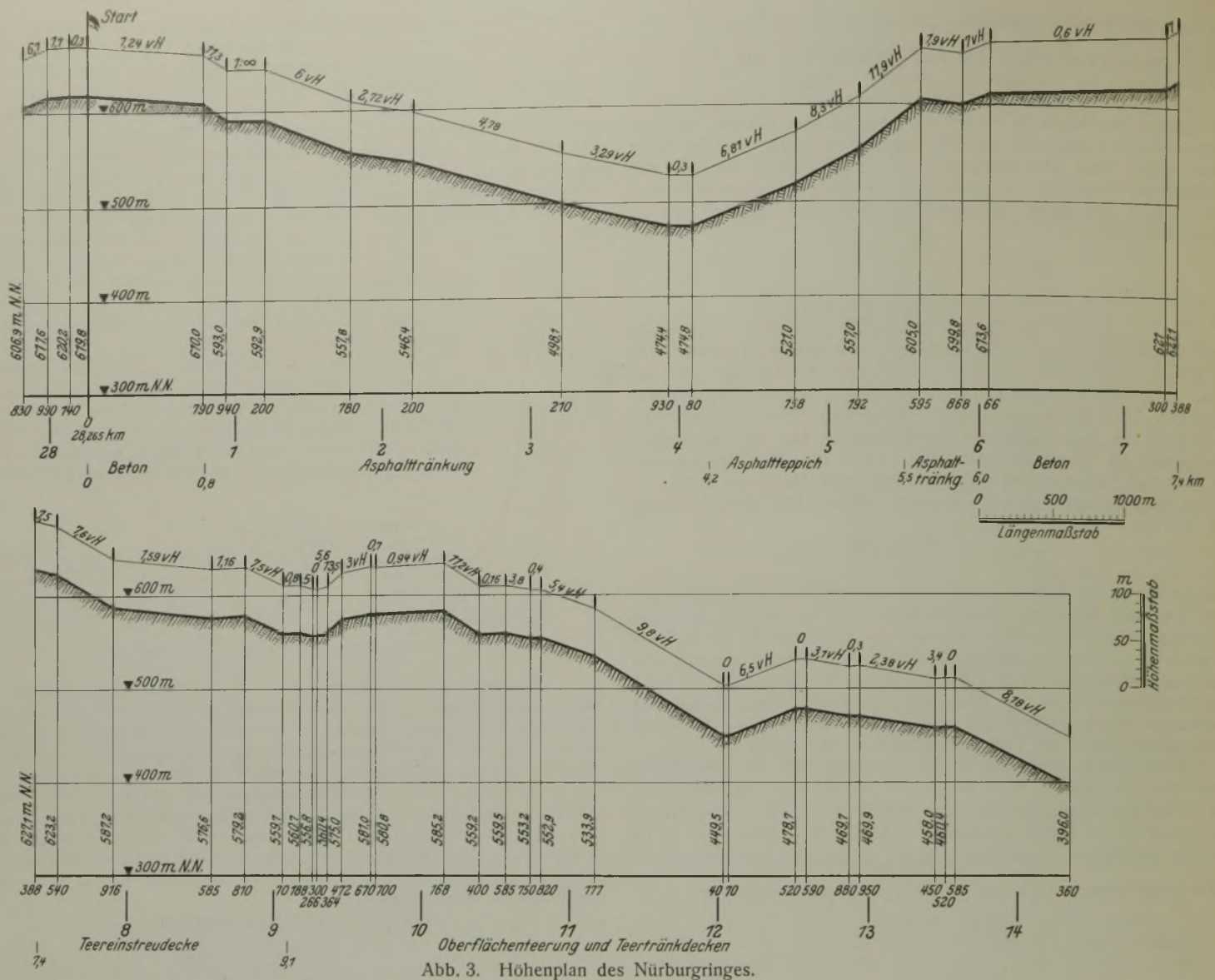


Abb. 3. Höhenplan des Nürburgringes.

Der Betriebsstoffverbrauch ist dann

$$S = \frac{Lst}{3600}$$

s = Einheitsbetriebsstoffverbrauch für 1 PS/h ist für die verschiedenen Motorleistungen ein anderer. Für einen Betriebsstoffverbrauch nach der Kurve der Abb. 1 ist der Gesamtverbrauch auf der Hinfahrt und Rückfahrt auf dem Nürburgring ermittelt. Der Verbrauch auf der Hinfahrt beträgt 10,886 kg, auf der Rückfahrt 11,119 kg, demnach mehr 0,233 kg. Zu beachten ist noch, daß auch auf den Gefällstrecken Betriebsstoffverbrauch entsteht, soweit sie flacher sind als der Fahrwiderstand der Straßendecke. Bei stärkerer Neigung ist angenommen, daß die Betriebsstoffzufuhr abgedrosselt wird und der Motor als Kompressor zur Bremsung mitläuft, (s. Becker, Schnellastwagen mit Riesenluftreifen).

Es zeigt sich also, daß bei derjenigen Fahrt, bei der die stärksten Gefälle genommen werden, die Fahrzeit und der Betriebsstoffverbrauch am günstigsten sind, weil der Motor in diesem Falle voll ausgenutzt wird.

Fahrversuche am Nürburgring haben einen noch größeren Unterschied im Betriebsstoffverbrauch gezeigt, als die Rechnung ergeben hat<sup>1)</sup>:

	N. A. G.	Die vorliegende Rechnung hat ergeben
in der üblichen Fahrrichtung . . . . .	44,52	38,5
in entgegengesetzter Fahrrichtung . . .	47,35	39,6

1 auf 100 km

Nach dem Handbuch des Reichsverbandes für die Automobilindustrie verbraucht der N. A. G.-Lastwagen im Durchschnitt 32 l/100 km. Der Verbrauch in der Ebene ist also geringer als der auf der Fahrt über den Nürburgring in beiden Richtungen. Wieweit hierbei die Abnutzung des

<sup>1)</sup> Die Berechnungen über Fahrversuche auf dem Nürburgring und die noch folgenden von Dr.-Ing. Essers habe ich dem Mitteilungsblatt der Hafraba 1928, Nr. 2 u. 3 entnommen.

Wagens, falsche Vergasereinstellung u. a. schuld sind, ist schwer festzustellen. Für den der Rechnung zugrundegelegten 11-t-Kraftwagen wird ein Betriebsstoffverbrauch von 42 l/100 km angegeben. Wenn in dem vorliegenden Falle diese Menge trotz der Steigungen nicht erreicht ist, so ist das darauf zurückzuführen, daß angenommen ist, daß in den Gefällstrecken die Zufuhr von Betriebsstoff zum Motor abgeschlossen wird. Im praktischen Fahrbetrieb geschieht das wohl nur, wenn der Motor als Kompressorbremse wirkt, sonst läßt man ihn mit geringster Betriebsstoffzufuhr als Bremse mitlaufen. Es tritt also ein allerdings geringer Verbrauch ein.

Die Fahrt in der Ebene erfordert für den der Rechnung zugrundegelegten Wagen folgende Fahrzeiten und folgenden Betriebsstoffverbrauch:

Zusammenstellung 1.

Fahrbahndecke	m	Fahrwiderstand $H_w$ in		$P_i$	Fahrzeit für	
		kg/t	tm		1 t in sek	11 t
Beton . . . . .	2 464	12,7	31,29	1,27	0,7	240
Tränckedecke . . . . .	15 500	30	465,00	3,0	0,3	1530
Teermischmakadam . . . . .	10 300	25	257,50	2,5	0,35	990
	28 264					2760

Kontrolle: 28 264 m werden in 2760 sek durchfahren. Das entspricht einer Fahrgeschwindigkeit von 10,2 m/sek = rd. 36 km/h wie angenommen (bei 1000 Umdrehungen/sek). Der Betriebsstoffverbrauch stellt sich auf 27 kg/100 km, er ist also auf der wagerechten Strecke geringer.

Unter Anlehnung an das Beispiel, das ich in meinem Buch über „Neuzeitlichen Straßenbau, seine Aufgaben und Technik“, Berlin 1927, Verlag von Julius Springer, gegeben habe, ergibt die Ermittlung für den hier behandelten Kraftwagen auf einer Strecke von 100 km, bei der eine Höhe von 2000 m mit solchen Steigungen überwunden werden muß, die die günstigste Ausnutzung in jedem Gang zulassen:

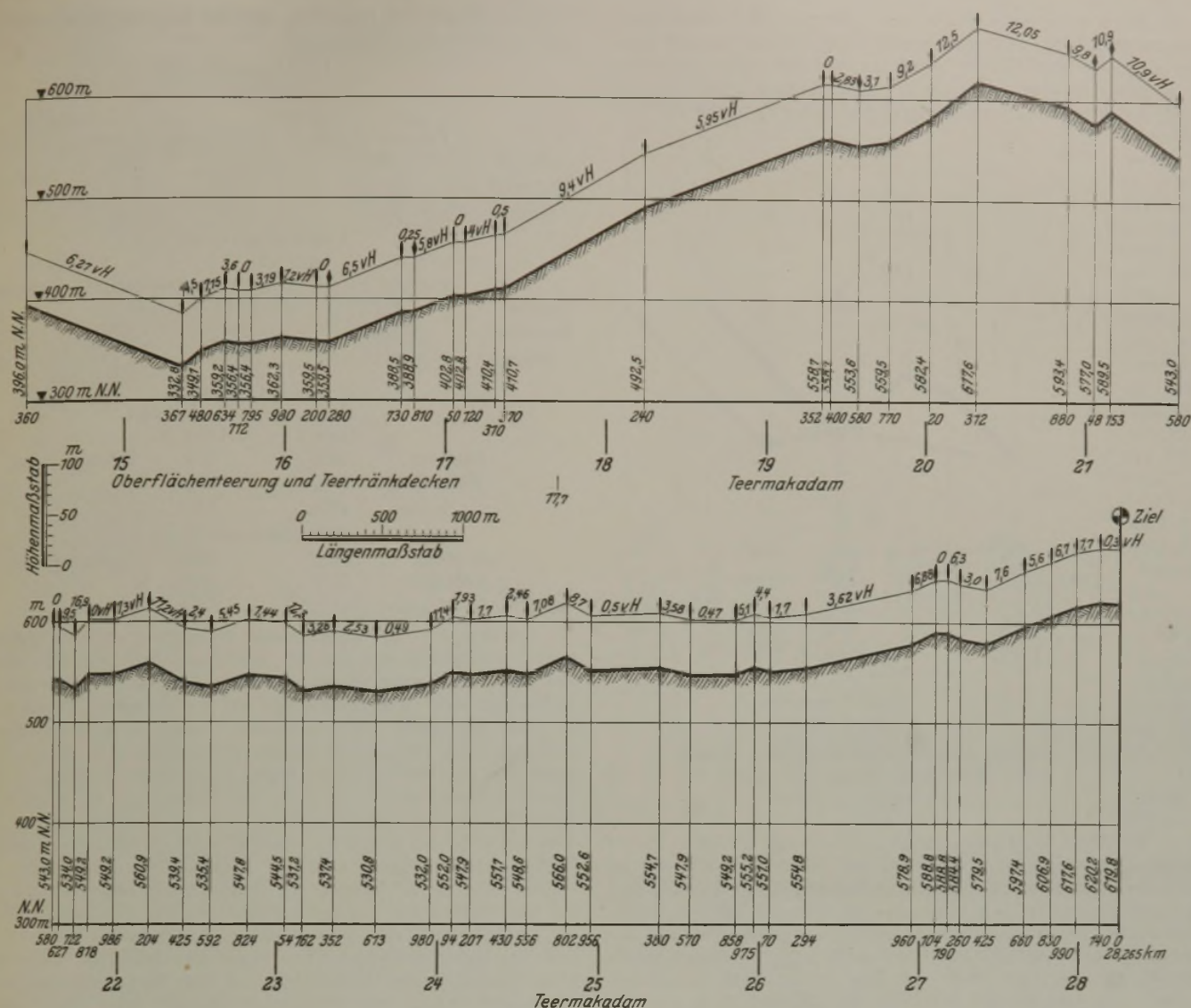


Abb. 3. Höhenplan des Nürburgringes.

Zusammenstellung 2.

	Steigungen in %			
	0	3,25	5,35	10,25
Fahrzeit in sek. . . . .	10 000	10 000	11 690	12 730
Betriebsstoffverbrauch in kg. . .	—	34,5	32,7	32,1
Gang . . . . .			III	II

Die Fahrzeit steigt im dritten und zweiten Gang mit Zunahme der Steigungen, weil die höheren Steigungen langsamer befahren werden. Der Betriebsstoffverbrauch nimmt unbedeutend ab. Wenn wiederum berücksichtigt wird, daß der Betriebsstoffverbrauch für die Betriebskosten nicht von besonderem Einfluß ist, die anderen höheren Unkosten sind mit der Fahrzeit steigen, so zeigt sich, daß diejenige Steigung die günstigste ist, bei der die Lastwagen die Steigung noch mit dem vierten Gang mit derselben Geschwindigkeit, mit der sie auf der wagerechten Strecke fahren, nehmen können. Das würde, wie sich aus der Fahrzeitlinie entnehmen der Fahrzeitlinie, nach Abzug der Fahrwiderstandshöhe von 1,27% eine Steigung von 3,23% sein.

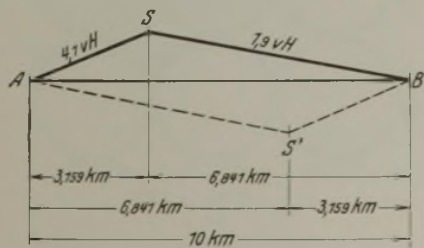


Abb. 4.

Verlorene Steigungen bei Kraftwagenstraßen sind daher ohne Einfluß, ja sie können sogar für den Verbrauch an Betriebsstoff zweckmäßig sein, wenn die Anstiege auf beiden Seiten diejenigen Gefälle, die mit dem höchsten Gange noch befahren werden können, nicht übersteigen, besonders wenn dabei diejenige Steigung gewählt wird, bei der der Motor am besten ausgenutzt wird.

Hierüber hat Dr.-Ing. Essers, Kiel, Untersuchungen angestellt, über die Baurat Eichler, der Erbauer des Nürburgringes, in Verbindung mit den schon erwähnten Erfahrungen am Nürburgring berichtet. Dr.-Ing. Essers vergleicht den Betriebsstoffverbrauch für eine wagerechte Strecke von 10 km mit derjenigen einer Steigung von 130 m, die auf der einen Seite mit einer Steigung von 4,1% (L = 3180 m) und auf der anderen Seite mit 1,9% (L = 6820 m) überwunden wird. Er errechnet bei 31,1 km/h Fahrgeschwindigkeit in der Wagerechten den folgenden Betriebsstoffverbrauch (Abb. 4):

- Fahrrichtung A—B wagerecht . . . . . 2,08 kg
- A—S—B steiler Anstieg . . . . . 1,43 "
- B—S—A flacher Anstieg . . . . . 2,05 "

Die Fahrzeit ist in allen drei Fällen dieselbe, weil bei diesen Steigungen noch die höchste Fahrgeschwindigkeit entwickelt werden kann. Auch der steile Anstieg von 4,1% kann bei der von Essers gewählten Wagenform noch mit dem vierten Gang genommen werden.

Aus den Beobachtungen am Nürburgring und den Berechnungen von Dr.-Ing. Essers hat Baurat Eichler gefolgert, daß eine Straße nur für Kraftwagenverkehr — eine Kraftverkehrsstraße — nicht wagerecht geführt werden soll, sondern mit verlorenen Steigungen, weil dann der Motor nur die Steigung zu nehmen hat und dabei mit Vollast die günstigste Betriebsstoffausnutzung hat. Die Gefällstrecke kann er ohne Betriebsstoff durchfahren. Das ist aber nur richtig, wenn die Steigung so gering ist, daß sie im vierten Gang genommen werden kann. Bei höheren Gängen verlängert sich die Fahrt und damit die gesamte Fahrzeit, und die tkm-Leistung auf die Zeiteinheit geht zurück. Da die Betriebsstoffkosten unter den Lastkraftwagenbetriebskosten nur einen geringen Teil ausmachen, gegenüber den festen Kosten der Verzinsung, Tilgung, Steuern, Versicherungen, Unterhaltung u. a., so ist nicht der Betriebsstoffverbrauch, sondern die Fahrzeit für die Linienführung der Straßen maßgebend. Man wird nicht ohne Zwang eine Straße in verlorenen Steigungen führen. Man wird aber aus den angeführten Ergebnissen auch vor starken Steigungen nicht zurückschrecken.

Wie ich schon in meinem Buch über „Neuzeitlichen Straßenbau“, S. 81, nachgewiesen habe, wird unter verschiedenen Linien mit verlorenen Steigungen diejenige den Vorzug verdienen, die die kürzeste Fahrzeit hat. Die in diesem Beitrag entwickelten Fahrzeitkurven gestatten unter Berücksichtigung der Fahrwiderstandseigenschaften der Fahrbahn die Fahrzeitermittlung auf schnellem Wege.

Um das an einem Beispiel zu erläutern, soll für die beiden Linien der Abb. 5, bei der die Linie I mit der höheren verlorenen Steigung die kürzere ist, für den zuvor behandelten 11-t-Lastwagen und für den von Dr.-Ing. Essers gewählten 10-t-Lastwagen Fahrzeit und Betriebsstoffverbrauch, zugleich aber auch für zwei Befestigungen mit verschiedenen Fahrwiderständen miteinander verglichen werden.

Der Fahrwiderstand ist deshalb besonders berücksichtigt, weil er auf Größe derjenigen Steigung, die noch mit dem vierten Gang befahren werden kann, von Einfluß ist. In den Fahrbildern für Kraftwagenmotoren wird zumeist mit einem Rollverlust von 10 bis 15 kg/t gerechnet. Ein so geringer Fahrwiderstand ist aber nur auf den besten Straßendecken, wie Beton oder Stampfasphalt, vorhanden. Sobald der Fahrwiderstand größer wird, geht die Überschußleistung im Motor zurück und damit die Steigung, die noch mit dem vierten Gang genommen werden kann. Das Beispiel der Abb. 5 ist für 12,5 und 25 kg für die Tonne Fahrwiderstand durchgerechnet. Das Ergebnis ist in der folgenden

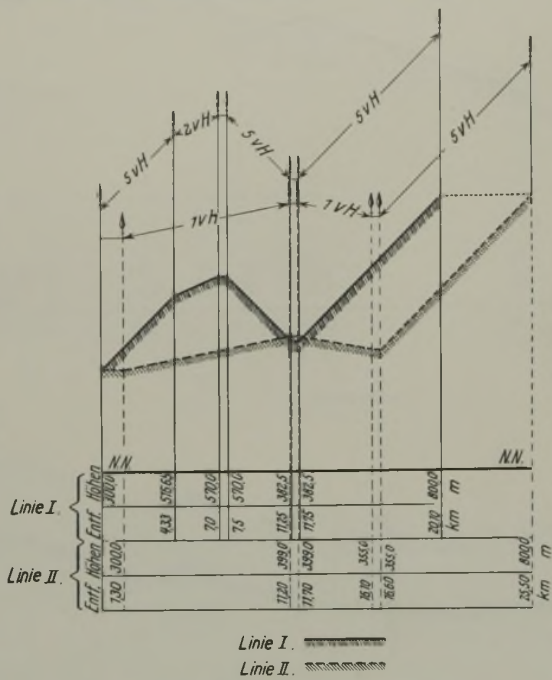


Abb. 5. Vergleich zwischen zwei Linien, wobei die kürzere Linie I eine starke verlorene Steigung aufweist.

Tafel als Summe der Fahrzeiten und des Betriebsstoffverbrauches für Hin- und Rückfahrt zusammengestellt:

10-t-Lastkraftwagen.				
Fahrwiderstand 12,5 kg/t.				
	Linie I		Linie II	
	Fahrzeit in sek	Betriebsstoffverbrauch	Fahrzeit in sek	Betriebsstoffverbrauch
Hinfahrt	3227	8,7	9,03	3557
Rückfahrt	2606	2,38	3,1	2967
Summe	5833	11,08	12,13	6524
Fahrwiderstand 25 kg/t				
	Linie I		Linie II	
	Fahrzeit in sek	Betriebsstoffverbrauch	Fahrzeit in sek	Betriebsstoffverbrauch
Hinfahrt	3227	10,12	10,1	3557
Rückfahrt	2606	2,89	4,35	2967
Summe	5833	13,01	14,45	6524
11-t-Lastwagen.				
Fahrwiderstand 12,5 kg/t				
	Linie I	Linie II		
	Fahrzeit in sek	Fahrzeit in sek		
Hinfahrt	2627	2940		
Rückfahrt	2165	2545		
Summe	4792	5485		
Fahrwiderstand 25 kg/t				
	Linie I	Linie II		
	Fahrzeit in sek	Fahrzeit in sek		
Hinfahrt	3982	3940		
Rückfahrt	2595	2562		
Summe	6577	6502		

Bei dem 10-t-Lastwagen bleibt die Linie I auch die günstigere bei hohem Fahrwiderstand sowohl in Fahrzeit wie Betriebsstoffverbrauch. Bei dem 11-t-Lastwagen ändert sich das Bild, bei dem höheren Fahrwiderstand wird Linie II diejenige mit der kürzeren Fahrzeit.

Wie das ganze hier entwickelte Verfahren der Fahrzeitberechnung und daraus des Betriebsstoffverbrauches erkennen läßt, ist der Fahrwiderstand für die Entscheidung, wie weit verlorene Steigungen zugelassen werden können, unter Umständen von Bedeutung. Da unsere Kenntnisse dieser Werte noch ungenau sind, wäre es zweckmäßig, sie auf dem Versuchswege zu ermitteln. Einige Angaben, die aus Versuchen aus Nordamerika stammen, sind im „Neuzeitlichen Straßenbau“, S. 328, abgedruckt. Es ist bereits genügend darauf hingewiesen worden, daß auf den Straßen mit geringem Fahrwiderstand der Betriebsstoffverbrauch ein geringerer ist. Da hier gegebene Verfahren der Fahrzeitberechnung und des Betriebsstoffverbrauches bietet die Grundlage, um verschiedene Linienführungen und Deckenarten nach ihrer Wirtschaftlichkeit im Betriebe mit Lastkraftwagen oder Personenomnibussen, deren Bauart und Antrieb denen der Lastkraftwagen entsprechen, zu vergleichen.

Alle Rechte vorbehalten.

### Zur Berechnung zylindrischer Silozellen aus Eisenbeton.

Von Professor Dr.-Ing. Mörsch, Stuttgart.

Die Wände der zylindrischen Silozellen von kreisrundem Querschnitt werden meist nur für die Ringzugkraft  $Z = p \cdot r_i$  bemessen, wobei  $r_i$  den inneren Halbmesser und  $p$  den vom Füllgut auf die Flächeneinheit der Wand ausgeübten Druck bedeutet. Es ist klar, daß diese Rechnung nur dann richtig ist, wenn die so beanspruchte Zylinderwand sich ungehindert so ausweiten kann, als es die Ringzugkraft verlangt. Streng genommen trifft dies nur für die freistehende Einzelzelle zu.

Sind dagegen bei einem Silo mehrere runde Zellen nach Abb. 1 aneinandergereiht, so sind die Zellenwände in ihrer freien Ausweitung gehindert, und es werden noch zusätzliche Biegebeanspruchungen namentlich bei den Zwickeln auftreten. Wenn sich nämlich die Zellen infolge der Ringzugkraft ausweiten würden, so müßten sie sich gegenseitig auf die Seite drücken, d. h. es müßten sich die Achsen besonders der seitlich gelegenen Zellen verschieben. Dies ist aber nicht möglich, weil die Zellen oben durch eine steife Eisenbetontafel abgeschlossen und miteinander verbunden sind, während unten der die Trichter tragende Ringträger jede seitliche Verschiebung hindert. Diese Ringträger werden durch die meridionale Aufhängekraft der Trichter auf Ringdruck beansprucht, dem der vom Füllgut erzeugte Ringzug entgegenwirkt. Jedenfalls ändern die Ringträger ihren Durchmesser so wenig, daß hiervon eine nennenswerte Achsverschiebung der Zellen nicht entsteht.

Die zusätzlichen Biegebeanspruchungen sind am größten in den Zwickelwänden, und zwar wenn sämtliche Zellen gefüllt sind. Dann darf man die Berührungspunkte der Zellen als unverschieblich annehmen. Der einen mittleren Zwickel begrenzende Wandteil einer Zelle bildet dann ein Gewölbe, das radial von innen mit dem Wanddruck  $p$  belastet und da, wo es aus dem gemeinschaftlichen Wandteil zweier Zellen heraustritt, vollkommen eingespannt ist. Die Kämpfer dieses Gewölbes erleiden aber je eine Verschiebung in der Richtung der Tangente an den theoretischen Berührungspunkt, denn infolge des Ringzuges wird das

gemeinschaftliche Wandstück seine Länge in der angegebenen Richtung ändern, wenn die anliegenden Zellen gefüllt sind. Dadurch verringert sich die Stützweite jenes Gewölbes, und es entstehen weitere zusätzliche Biegespannungen. Abb. 2 zeigt in übertriebener Weise die Verbiegung der Wände bei den Zwickeln. Da die gleichförmige Ausweitung der Zellen nicht möglich ist, so muß sich der vergrößerte Umfang durch die Ausbauchung nach den Zwickeln hin Luft schaffen.

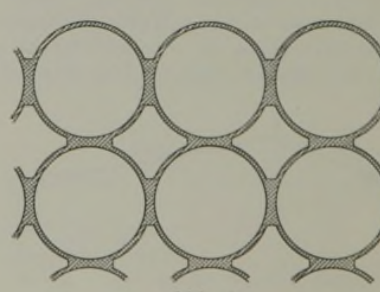


Abb. 1.

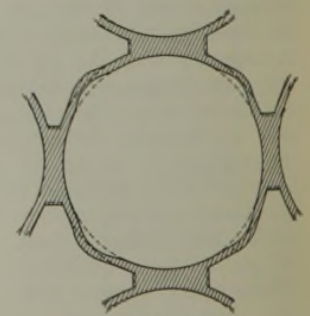


Abb. 2.

Bei einem vom Verfasser wegen der aufgetretenen Schäden begutachteten Bauwerk sind in den Zwickeln die Änderungen der Entfernungen gegenüberliegender Zellenwände gemessen worden. Mit fortschreitender Füllung der vier um den Zwickel herumliegenden Zellen verminderte sich der Abstand bis zu 3 mm. Wären die Wände nur auf reinen Ringzug beansprucht, so würden sich alle Grundrißmaße proportional vergrößern, und es müßte dann auch die Entfernung gegenüberliegender Wände in den Zwickeln zunehmen! Da sie aber kleiner geworden ist, so ist dies ein Beweis für die in Abb. 2 dargestellte Verbiegung der Zwickelwände.

Nachstehend soll die Berechnung der Zwickelwände als Gewölbe auf Innendruck gezeigt werden, und zwar zunächst unter der Voraussetzung unverschieblicher Kämpfer. Sodann soll der Einfluß des Näherrückens der Kämpfer untersucht werden.

1. Berechnung des kreisförmigen Gewölbes gegen Innendruck.

Nehmen wir in Abb. 3 das linke Auflager weg und bringen im Endquerschnitt daselbst die Ringzugkraft  $Z = p \cdot r_i$  an, so fällt die Stützlinie mit der Bogenachse zusammen; dabei wird sich das Gewölbe unter dem Einfluß der Zugkraft  $Z$  auf die einzelnen Querschnitte verlängern.

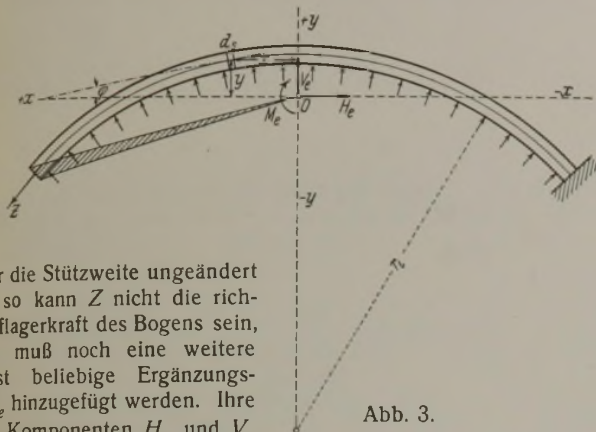


Abb. 3.

Da aber die Stützweite ungeändert bleibt, so kann  $Z$  nicht die richtige Auflagerkraft des Bogens sein, und es muß noch eine weitere zunächst beliebige Ergänzungskraft  $R_e$  hinzugefügt werden. Ihre beiden Komponenten  $H_e$  und  $V_e$  können wir an dem in starrer Verbindung mit dem linken Endquerschnitt zu denkenden Punkte  $O$  wirken lassen, wenn wir gleichzeitig noch ein Kräftepaar vom Moment  $M_e$  beifügen. Die drei Komponenten  $H_e$ ,  $V_e$  und  $M_e$  sind als die statisch unbestimmten Größen aus den drei Elastizitätsgleichungen zu ermitteln, die sich aus der unveränderten Lage des linken Endquerschnitts ergeben.

Nach der vom Verfasser in der Schweiz. Bztg. 1906 erschienenen Abhandlung ist die unveränderte Lage des Endquerschnitts bzw. des starr mit ihm verbundenen Punktes  $O$  durch folgende Gleichungen ausgedrückt (Abb. 3), wobei  $N_x$  eine Zugkraft bedeutet:

keine wagerechte Verschiebung des Punktes  $O$ :

$$0 = \int \frac{M_x}{EJ} \cdot ds \cdot y + \int \frac{N_x}{EF} \cdot ds \cdot \cos \varphi,$$

keine lotrechte Verschiebung des Punktes  $O$ :

$$0 = \int \frac{M_x}{EJ} \cdot ds \cdot x + \int \frac{N_x}{EF} \cdot ds \cdot \sin \varphi,$$

keine Drehung des Endquerschnitts:

$$0 = \int \frac{M_x}{EJ} \cdot ds.$$

Für  $M_x$  und  $N_x$  sind zu setzen:

$$M_x = M_e - H_e y - V_e x$$

$$N_x = Z - H_e \cos \varphi - V_e \sin \varphi.$$

Damit bekommt man die drei folgenden Gleichungen:

$$0 = M_e \int \frac{y ds}{EJ} - H_e \int \frac{y^2 ds}{EJ} - V_e \int \frac{xy ds}{EJ} + Z \int \frac{\cos \varphi ds}{EF} - H_e \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{EF} - V_e \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{EF}$$

$$0 = M_e \int \frac{x ds}{EJ} - H_e \int \frac{xy ds}{EJ} - V_e \int \frac{x^2 ds}{EJ} + Z \int \frac{\sin \varphi ds}{EF} - H_e \int \frac{\cos \varphi \sin \varphi ds}{EF} - V_e \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{EF}$$

$$0 = M_e \int \frac{ds}{EJ} - H_e \int \frac{y ds}{EJ} - V_e \int \frac{x ds}{EJ}.$$

Wählt man die Lage des Punktes  $O$  und der durch ihn gehenden Achsen so, daß

$$\int \frac{y ds}{J} = 0, \int \frac{x ds}{J} = 0 \text{ und } \int \frac{xy ds}{J} = 0 \text{ ist,}$$

d. h. den Punkt  $O$  als Schwerpunkt der elastischen Gewichte  $\frac{ds}{J}$ , die  $y$ -Achse als Symmetrieachse und die  $x$ -Achse senkrecht auf ihr, dann fallen in den Gleichungen die entsprechenden Glieder weg. Außerdem verschwinden alle Integrale mit  $\sin \varphi$ , weil jedem Bogenelement mit  $+\sin \varphi$  auf der linken Hälfte ein gleiches mit  $-\sin \varphi$  auf der rechten Hälfte entspricht. Es ergibt sich aus der dritten Bedingungsgleichung  $M_e = 0$ , aus der zweiten  $V_e = 0$  und sodann aus der ersten

$$H_e = \frac{Z \int \frac{\cos \varphi ds}{F}}{\int \frac{y^2 ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F}}.$$

Da die Wanddicke als konstant vorausgesetzt ist, so wird der Ausdruck

$$H_e = \frac{Z l}{\frac{F}{J} \int y^2 ds + \int \cos^2 \varphi ds}$$

Da diese Kraft in starrer Verbindung mit dem linken Endquerschnitt

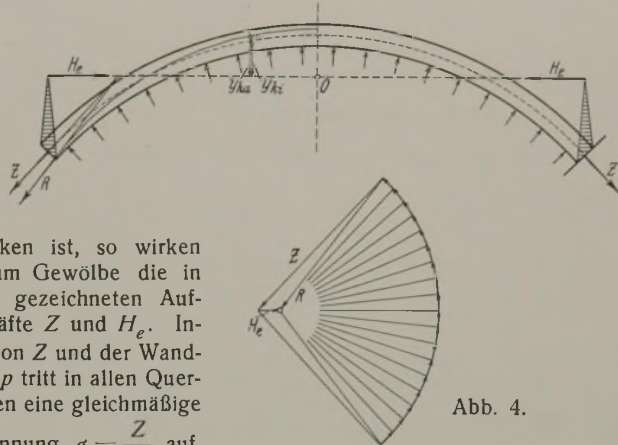


Abb. 4.

zu denken ist, so wirken links am Gewölbe die in Abb. 4 gezeichneten Auflagerkräfte  $Z$  und  $H_e$ . Infolge von  $Z$  und der Wanddrücke  $p$  tritt in allen Querschnitten eine gleichmäßige Zugspannung  $\sigma = \frac{Z}{F}$  auf.

Die Kraft  $H_e$  erzeugt oberhalb der  $x$ -Achse als exzentrische Druckkraft außen Zug-, innen Druckspannungen; unterhalb der  $x$ -Achse gegen die Kämpfer hin erzeugt sie außen Druck-, innen Zugspannungen. Bezeichnet man die Zugspannungen als positiv, so sind die Randspannungen

$$\sigma_a = \frac{Z}{F} + \frac{H_e y_{ki}}{W} \quad \sigma_i = \frac{Z}{F} - \frac{H_e y_{ka}}{W}.$$

Will man die tatsächliche Stützlinie zeichnen, die übrigens zur Ermittlung der Spannungen nicht nötig ist, so hat man  $Z$  und  $H_e$  zur resultierenden Kämpferkraft  $R$  zusammensetzen, mit der sich dann vom Kämpfer beginnend die Stützlinie (als Zuglinie) zeichnen läßt. Diese durchschneidet die Mittellinie des Bogens auf der  $x$ -Achse.

Die Lage des Schwerpunktes  $O$  der elastischen Gewichte  $\frac{ds}{J}$  kann bei konstanter Wanddicke als Schwerpunkt der Bogenachse  $ASB$  (Abb. 5) eingerechnet werden. Deshalb ist

$$MO = \frac{MS \cdot l}{s} = r \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

$$OS = r - MO = r \left( 1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right).$$

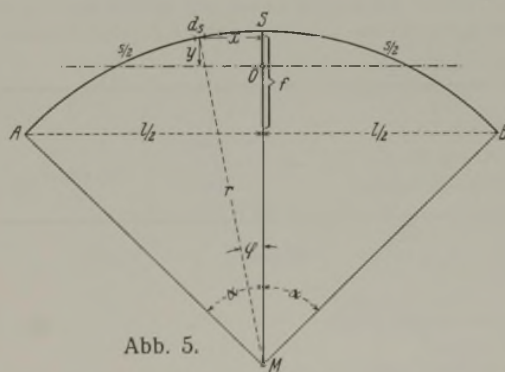


Abb. 5.

Die Integrale des Nenners von  $H_e$  können ermittelt werden, indem man den halben Bogen in eine gerade Anzahl gleicher Teilstücke einteilt, für die Teilpunkte die Größen  $y^2$  und  $\cos^2 \varphi$  ausrechnet und nach der Simpsonschen Regel addiert. Oder man ermittelt sie einfach als  $\sum y^2 \Delta s$  und  $\sum \cos^2 \varphi \Delta s$ , wobei

sich die Summenglieder auf die Mitten der Teilstücke  $\Delta s$  der Bogenachse beziehen.

Beide Integrale lassen sich auch mathematisch lösen. Es ist  $ds = r d\varphi$  und

$$\int \cos^2 \varphi ds = 2r \int_0^\alpha \cos^2 \varphi d\varphi = r \left( \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \alpha \right).$$

Geht man von den Winkelfunktionen auf die Längen über, so kann man mit Rücksicht auf Abb. 5 schreiben  $r \left( \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \alpha \right) = r \sin \alpha \cos \alpha + r \alpha$

$= \frac{l}{2r} (r - f) + \frac{s}{2}$ , also

$$\int \cos^2 \varphi ds = \frac{l}{2r} (r - f) + \frac{s}{2}.$$

Ferner ist  $y = r \cos \varphi - MO = r \cos \varphi - r \frac{\sin \alpha}{\alpha}$ , somit

$$\int y^2 ds = 2 r^3 \int_0^\alpha \left( \cos \varphi - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 d\varphi$$

$$\int y^2 ds = r^3 \left( \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - 2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha} \right)$$

oder in Längen ausgedrückt:

$$\int y^2 ds = r^2 \left( \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2} \right) - r^3 \cdot 2 \cdot \frac{l^2}{4r^2} \cdot \frac{2r}{s}$$

$$\int y^2 ds = r^2 \left( \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2} - \frac{l^2}{s} \right)$$

Da  $J$  und  $F$  sich für einen rechteckigen Querschnitt von der Breite  $b$  ( $= 1$  m) und der Dicke  $d$  der Wand verstehen, so ist  $\frac{F}{J} = \frac{b d \cdot 12}{b d^3} = \frac{12}{d^2}$ , und man erhält für  $H_e$  die beiden folgenden Ausdrücke:

$$H_e = \frac{Zl}{\frac{12}{d^2} \cdot r^3 \left( \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - 2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha} \right) + r \left( \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \alpha \right)}$$

$$H_e = \frac{Zl}{\frac{12}{d^2} \cdot r^2 \left( \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2} - \frac{l^2}{s} \right) + \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2}}$$

Beidemale wird der Klammerausdruck des ersten Gliedes im Nenner sehr klein, so daß man beim Zahlenrechnen leicht ungenaue Werte bekommt.

Deshalb empfiehlt es sich,  $\int y^2 ds$  als  $\Sigma y^2 \Delta s$ , wie oben angegeben, zu ermitteln, während  $\int \cos^2 \varphi ds = \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2}$  gerechnet werden kann.

Wenn man indessen den Klammerausdruck  $\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - 2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha}$  in eine Reihe verwandelt, so liefern bei den hier vorkommenden Werten von  $\alpha$  ihre zwei ersten Glieder eine einfache und bequeme Rechnung. Da alle niederen Potenzen von  $\alpha$  verschwinden, erhält man nämlich

$$\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - 2 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha} = \frac{2}{45} \alpha^5 - \frac{2}{315} \alpha^7 + \frac{2}{4725} \alpha^9 - \dots$$

und es kann deshalb

$$H_e = \frac{Zl}{\frac{12}{d^2} \cdot r^3 \left( \frac{2}{45} \alpha^5 - \frac{2}{315} \alpha^7 \right) + \frac{l}{2r} (r-f) + \frac{s}{2}}$$

geschrieben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

### Schleusen ohne Wasserverbrauch.

Von Professor Rothmund, Stuttgart.

#### I. Einleitung und Übersicht.

Die bisher gebräuchlichen und vorgeschlagenen Arten von Schiffshebewerken im weitesten Sinne des Wortes lassen sich gemäß der folgenden Übersicht in einzelne Gruppen und Unterabteilungen zusammenfassen.

#### Übersicht.

1	2	3	4	5
O. Z.	Hauptgruppe	Arten bzw. Unterabteilungen	Der Förderweg des Schiffes bzw. Schiffstrog geht durch	Die Last ist abgesetzt auf
1.	Schleusen mit Wasserverbrauch	a) einfache Kammer-schleusen, b) mehrfache Kammer-schleusen und Schleu-sentreppen, c) Schachtschleusen je ohne oder mit Spar-becken.	Wasser	Wasser
2.	Schleusen ohne Wasserverbrauch	a) Kammerschleusen mit Verdrängern = Verdrängerschleusen, b) Schwimmtrog-schleusen als Unterwasser-schleusen und Tauch-schleusen,	Wasser	Wasser
3.	Schwimmerhebewerke	a) mit lotrechten Schwimmern unter dem Schleusentrog oder seitlich desselben, b) mit wagerecht liegenden Schwimmern.	—	Luft

2. Weitere Zusatzkraft  $H_{\Delta l}$  infolge Verkürzung der Stützweite.

Das Wandstück, das am Berührungspunkte von zwei Zellen beiden angehört, wird durch die doppelte Ringzugkraft  $2Z$  gezogen und gedehnt. Ist die Dehnung auf die Länge  $c$  (Abb. 6),  $\Delta c = \frac{2Z}{E_b F_c} \cdot c$  als Verlängerung des Betons vom verglichenen Querschnitte  $F_c$  ermittelt, so findet man  $\Delta l = \frac{2\Delta c}{\sqrt{2}} = \Delta c \sqrt{2}$ .

Nach der allgemeinen Gewölbetheorie entsteht dadurch eine weitere mit  $H_e$  zusammenfallende Auflagerkraft des Bogens vom Betrag

$$H_{\Delta l} = \frac{E_b \Delta l}{\int \frac{y^2 ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi}{F} \cdot ds} = \frac{F E_b \Delta l}{J \int y^2 ds + \int \cos^2 \varphi ds}$$

oder  $H_{\Delta l} = \frac{F E_b \Delta l}{Z l} H_e$ .

Bei dem vom Verfasser begutachteten Silo ergab sich mit  $r = 3,965$  m,  $d = 13$  cm,  $l = 3,1302$  m mit  $p = 3$  t/m<sup>2</sup> für die 1 m hohe Wandzone  $Z = 11,70$  t  $H_e = 1,514$  t  $H_{\Delta l} = 0,67$  t.

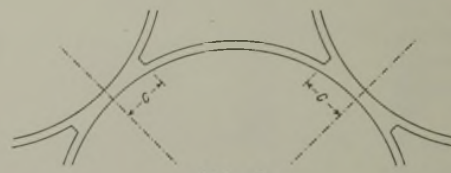


Abb. 6.

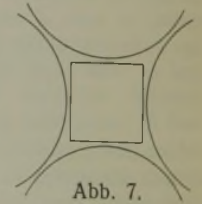


Abb. 7.

Auf den Betonquerschnitt allein gerechnet, ergaben sich im Scheitel die Zugspannungen  $\sigma_a = 15,69$  und  $\sigma_i = 2,31$  kg/cm<sup>2</sup>; am Kämpfer innen wuchs die Zugspannung auf 22,4 kg/cm<sup>2</sup> an. Im Scheitel waren die Eisen an der Außenseite mit rd. 1900 kg/cm<sup>2</sup> beansprucht. Die Wände wiesen in den Zwickelräumen zahlreiche lotrechte Risse auf, die von der zusätzlichen Biegung herrührten.

Zum Schluß sei darauf hingewiesen, daß es zweckmäßig erscheint, die Wandflächen in den Zwickeln eben auszuführen, so daß man diese Wandteile als eingespannte Balken mit veränderlichem Trägheitsmoment rechnen kann, die noch einen Achsialzug gleich  $Z$  aufzunehmen haben (Abb. 7). Das zusätzliche Biegemoment in Feldmitte wird dann klein, und für das Einspannmoment ist eine große Wanddicke vorhanden.

1	2	3	4	5
O. Z.	Hauptgruppe	Arten bzw. Unterabteilungen	Der Förderweg des Schiffes bzw. Schiffstrog geht durch	Die Last ist abgesetzt auf
4.	Mechanische Hebewerke	a) Preßkolbenhebe- werke, b) lotrechte Hebewerke mit Gegengewichten, c) schwingende und drehbare Hebewerke in Form von Hebeln, Schrauben u. dergl., d) Hebewerke auf längs- und quergeneigter Bahn.	—	Luft
			—	Ma- schinen

Die Gesichtspunkte, nach denen die Einteilung durchgeführt ist, gehen aus den Spalten 4 u. 5 hervor: Die natürlichen Schleusungsarten, bei denen das Schiff bzw. der Schiffstrog seinen Höhenweg im Wasser schwimmend zurücklegt und seine Last vom Wasser tragen läßt, werden mehr und mehr verlassen und gehen schließlich in die künstliche Förderweise mit Schiffsbeförderung durch die Luft und Absetzen der Förderlast auf Maschinen über.

Das bisher in Deutschland mit wenigen Ausnahmen verwendete Schiffshebewerk ist die Kammerschleuse in ihren verschiedenen unter O. Z. 1, Spalte 3 angegebenen Anwendungsformen ohne oder mit Sparbecken. Der Anwendungsbereich der Kammerschleuse ist aber ein beschränkter. Die jüngst fertiggestellte Schacht- und Sparschleuse bei Anderten (Abb. 21) zeigt, wie hohe Aufwendungen nötig sind, um Gefälle bis zu 15 m in einer Stufe und mit einer Wasserersparnis von 75% zu überwinden. Die Kammerschleuse genügt daher den neuzeitlichen An-

forderungen, die auf die Überwindung möglichst hoher Stufen bei möglichst geringem Wasserverbrauch abzielen, nicht mehr, und man sucht sie durch andere Arten von Schiffshebwerken zu ersetzen.

Über den Stand und die Ergebnisse der bisher über Schwimmerhebwerke und mechanische Hebwerke angestellten Untersuchungen gibt u. a. die Abhandlung von Ellerbeck über „Entwurfsarbeiten für ein Schiffshebwerk bei Niederfinow“ in der „Bautechnik“ 1927 eingehend Auskunft.

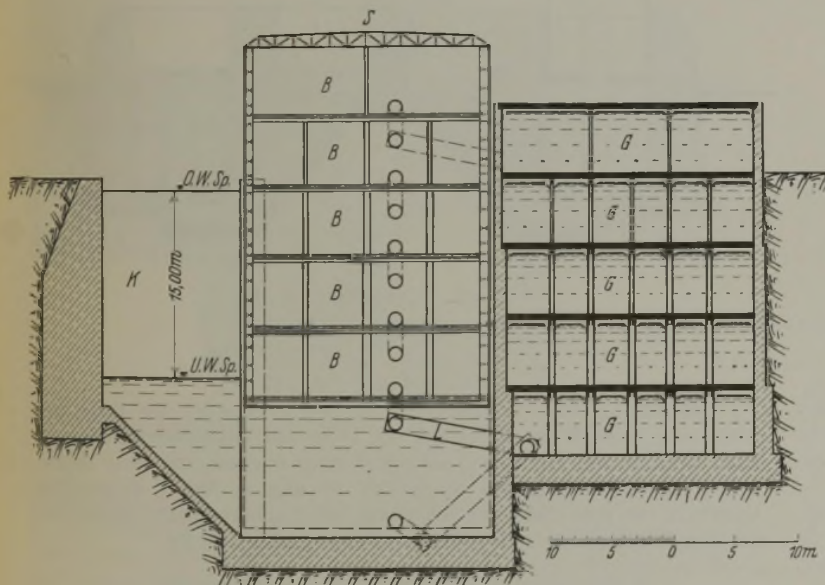
Die vorliegende Abhandlung befaßt sich vorwiegend mit den unter O. Z. 2 der vorstehenden Übersicht aufgeführten Schleusen ohne Wasserverbrauch und soll über die bisher für diese Art von Hebwerken gemachten Vorschläge unter Mitteilung einiger neuer Vorschläge des Verfassers berichten, wobei in groben Zügen auch auf ihre Betriebsicherheit und Bauwürdigkeit im Vergleich zu anderen mit ihnen vergleichbaren Schleusen und Hebwerken kurz eingegangen werden soll.

Die Schleusen ohne Wasserverbrauch sind grundsätzlich zu unterscheiden in solche, welche die Schleusenkammer als Schiffsbehälter bei der Schließung beibehalten und sich zur Hebung und Senkung des Schiffes eines oder mehrerer Verdrängerkörper bedienen, und in solche, welche die Kammerschleuse ganz verlassen und zur Förderung des Schiffes einen besonderen über oder unter Wasser schwimmenden Trog benutzen. Die ersteren werden kurz als „Verdrängerschleusen“ bezeichnet, die letzteren seien, wenn sie nur unter Wasser schwimmen, „Unterwasserschleusen“, wenn sie über und unter Wasser schwimmen, „Tauschschleusen“ genannt.

**II. Die Verdrängerschleusen.**

Verdrängerschleusen kann man nach vorstehendem also kennzeichnen als Schiffshebwerke, bei denen der Wasserspiegel in der Kammerschleuse gehoben und gesenkt wird durch die Lageänderung eines festen oder beweglichen Verdrängerkörpers gegenüber einem beweglichen oder festen Wasserbecken. Für Verdrängerschleusen ohne Wasserverbrauch kommt dazu die Bedingung, daß die Lageänderung zwischen Verdränger und Becken sich ohne nennenswerten Arbeitsaufwand vollziehen muß.

Abb. 1 a. Querschnitt.



a) Bauweise Schnapp.

Geht man die Patente über Schleusen und Schiffshebwerke seit der Jahrhundertwende durch, so begegnet man schon im Jahre 1901 dem bekannten, in Abb. 1a u. 1b dargestellten Vorschlag von Schnapp<sup>1)</sup>, ein Schiff in einer Schleusenkammer K um das Maß h zu heben und zu senken mit Hilfe eines in der erweiterten Kammer untergebrachten Schwimmers S. Dieser ist der Höhe nach in eine beliebige Anzahl von Belastungskammern B untergeteilt, die durch bewegliche Leitungen L mit ebenso vielen außerhalb der Schleuse übereinander angeordneten Gegenbehältern G verbunden sind. Die Belastungskammern und Gegenbehälter sind in ihrer Höhenlage so angeordnet, daß ein kleines Senken (bezw. Heben) des Verdrängerschwimmers das Füllen der Belastungskammern mit Belastungswasser aus den Gegenbehältern und damit das bis zur Endstellung andauernde Sinken des Schwimmers und Heben des Schiffes bis in Oberwasserstellung bewirkt (bezw. das Entleeren der Belastungskammern in die Gegenbehälter und damit das bis zur Endstellung andauernde Heben des Schwimmers und Senken des Schiffes bis in Unterwasserstellung). Wenn auch bei dem veranstalteten Wettbewerb für ein Schiffshebwerk bei Prererau sich gezeigt hat, daß der Schnappsche Gedanke sich in wirtschaftlicher Weise nicht verwirklichen ließ<sup>2)</sup>, so ist der Grundgedanke des Vorschlages, das Heben und Senken ohne nennenswerten Arbeitsaufwand mit Hilfe von Pendelwasser zwischen schwimmenden Belastungskammern und festen Gegenbehältern zu bewirken, zweifellos richtig und gut und erscheint auch in späteren, weiter unten zu behandelnden Vorschlägen wieder.

b) Bauweise Schneiders.

Beachtenswerte Vorschläge für Schleusen ohne Wasserverbrauch mit Hilfe von zwei Verdrängerschwimmern hat sodann vom Jahre 1913 ab Schneiders gemacht. Er bedient sich für die Wasserverdrängung der Wasserwage in Form von zwei schwimmenden Behältern, die bei gleicher Höhenlage je zur Hälfte mit Wasser gefüllt und durch ein U-förmiges Rohr miteinander verbunden sind. Das Rohr ist gegen die Behälter durch Stopfbüchsen abgedichtet, so daß eine Verschiebung der Behälter durch das Rohr stattfinden kann und bei einer lotrechten Bewegung der Behälter nach entgegengesetzten Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit nur ihre Füllmassen sich ändern, ohne daß eine Verschiebung der Wasserspiegellage eintritt.

Der Gedanke, zwei Verdrängerschwimmer mit einem oder mehreren Behältern übereinander, die entweder unter sich oder mit Schleusenkammern verbunden sind, zu benutzen, um Schiffe in Schwimmtrögen oder in Schleusenkammern und Schwimmtrögen oder in Schleusentritten zu fördern, ist Schneiders für eine Reihe von Anwendungsfällen patentiert worden. Zur Darstellung ist in Abb. 2 die zweistufige Doppelschleusentreppe (D. R. P. Nr. 301 975 vom 18. Oktober 1913) gewählt. Abb. 2a zeigt zunächst in schematischer Übersicht die Anordnung der Verdränger und Schleusenkammern sowie ihrer Verbindungsleitungen mit drei verschiedenen Stellungen der Verdränger. In Abb. 2b bis 2e ist — in etwas anderer Anordnung als der von Schneiders gewählten — die Anwendung für eine doppelte Schleusentreppe von je  $2 \times 7,5 = 15$  m gesamter Hubhöhe dargestellt.

Die Schleusentreppe mit den Kammern a und c werde zur Talfahrt, diejenige mit den Kammern b und d zur Bergfahrt benutzt. Die hydraulisch gekuppelten Verdrängerbecken sind hier längs der unteren Schleusenkammern angeordnet und enthalten die beiden zweistöckigen Schwimmer  $V_{a,b}$  und  $V_{c,d}$  mit den Gegenbehältern  $a_1, b_1$  bzw.  $c_1, d_1$ , die mit den entsprechenden Schleusenkammern a und b bzw. c und d leitend verbunden sind. Jeder Gegenbehälter hat den Fassungsraum für das Schleusungswasser seiner zugeordneten Kammer. In der Mittelstellung des ganzen Kammer- und Behältersystems (Stellung II in Abb. 2a) sind alle Kammern und Behälter je zur Hälfte gefüllt, der Wasserspiegel des Verdrängerbeckens liegt stets auf Mittelwasserhöhe, seine Sohle um eine Behälterhöhe tiefer als der Unterwasserspiegel der unteren Schleusenkammern. Senkt man unter sehr geringem Arbeitsaufwand z. B. den Verdränger  $V_{c,d}$  in seine tiefste Lage (Stellung I in Abb. 2a), so nehmen dabei seine Behälter je die untere Hälfte des Schleusungswassers aus den Kammern c, d auf. Gleichzeitig hebt sich der Verdränger  $V_{a,b}$  und bringt die Kammern a und b auf ihre Füllhöhe. c hat jetzt Unterwasserspiegel, a Oberwasserspiegel, b und d sind auf Mittelwasser ausgespiegelt. Aus dem Oberwasser kann ein Schiff in a einfahren, während aus c ein Schiff in das Unterwasser ausfährt und ein in der Bergfahrt begriffenes Schiff von b nach d weiterfährt.

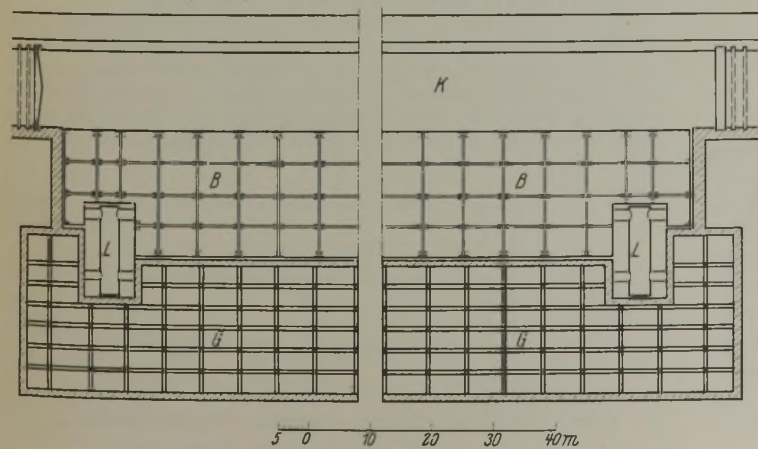


Abb. 1b. Grundriß.

Abb. 1a u. 1b. Verdrängerschleuse Bauweise Schnapp.

<sup>1)</sup> D. R. P. Nr. 126683.

<sup>2)</sup> Für die Schleuse von 12 m Hubhöhe und 600 m<sup>2</sup> Grundfläche war eine Schwimmerfläche von 1200 m<sup>2</sup> und eine Fläche der Gegenbehälter von 1380 m<sup>2</sup> vorgesehen.

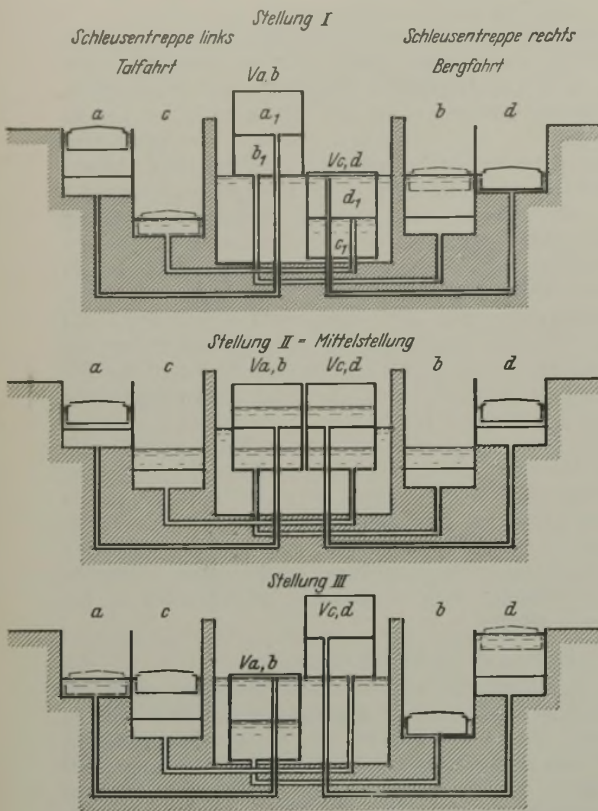


Abb. 2a. Schematische Übersicht.

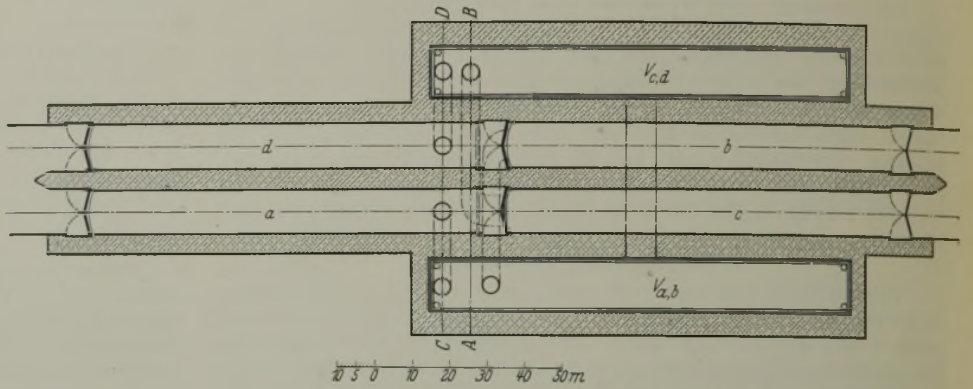


Abb. 2b. Grundriß.

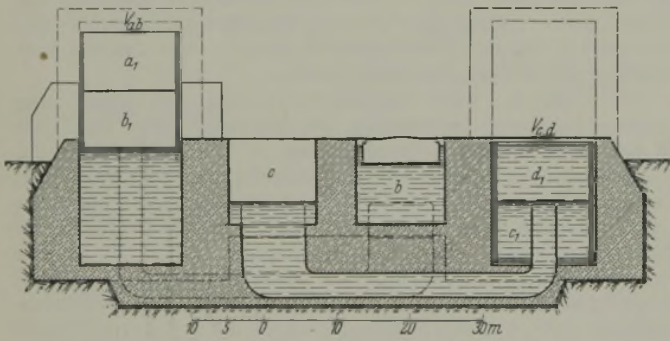


Abb. 2c. Querschnitt A-B.

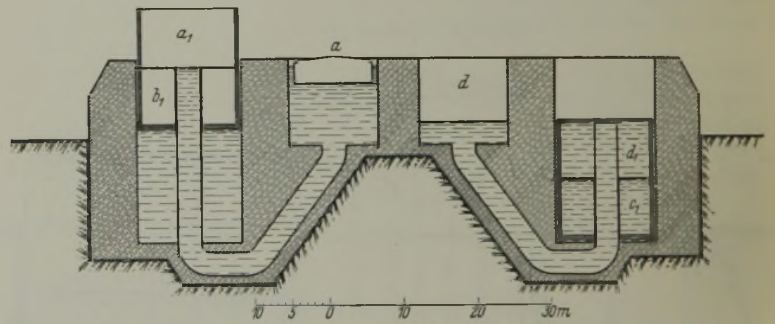


Abb. 2d. Querschnitt C-D.

Abb. 2a bis d. Verdrängerschleuse Bauweise Schneiders.

Senkt man nun den Schwimmer  $V_{a,b}$  und hebt dadurch  $V_{c,d}$  (Stellung III in Abb. 2a), so entleert sich  $a$  auf Mittelwasser,  $b$  auf Unterwasser,  $c$  füllt sich auf Mittelwasser und  $d$  auf Oberwasser, das Schiff in  $d$  fährt ins Oberwasser aus, das Schiff in  $a$  kann nach  $c$  weiterfahren, während  $b$  ein Schiff aus dem Unterwasser aufnimmt.

Um die volle<sup>3)</sup> Wassersparnis zu erzielen, benötigt Schneiders die

<sup>3)</sup> Die Verbindung durch Querkanäle gestattet ohnehin eine Wassersparnis von 50% (siehe Franzius, S. 486 u. 487).

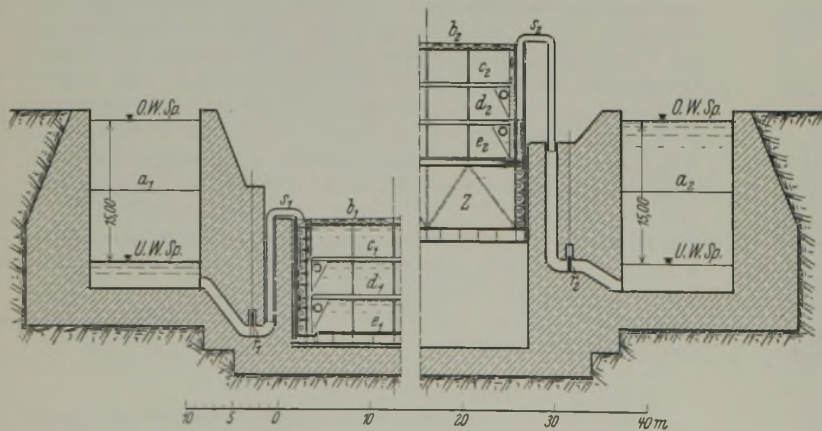


Abb. 3a. Querschnitt.

Abb. 3a u. b. Verdrängerschleuse mit Prebluftbetrieb Bauweise Proetel.

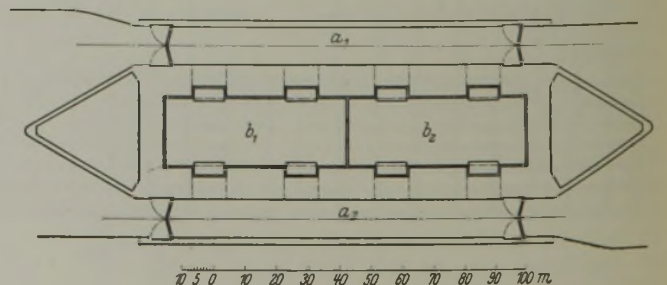


Abb. 3b. Grundriß.

Becken für die beiden Verdränger, deren Sohle um das Gefälle einer Schleusenammer unter der Unterwasserhöhe der unteren Schleuse liegen muß. Die Becken erhalten so bei sehr ungünstiger Sohlenlage mehr als den vierfachen Fassungsraum einer Schleusenfüllung. Ferner sind notwendig die beiden Verdrängerschwimmer mit je dem doppelten Fassungsraum einer Schleusenfüllung. Dazu kommen die betriebstechnisch ungünstigen Verbindungsleitungen zwischen den Behältern und Kammern.

Das Verdrängerbecken und die beiden Schwimmer erhalten also zusammen mehr als den achtfachen Fassungsraum einer Schleusenfüllung, d. h. die völlige Wassersparnis in den vier Kammern erfordert für jede die Schaffung von Behältern, die mehr als den doppelten Fassungsraum einer Kammer haben. Mit den Verdrängerschleusen von Schneiders wird somit die Wassersparnis durch recht große bauliche Aufwendungen und zum Teil schwierige technische Anlagen erkauft. Ihrer Verwirklichung stehen daher wirtschaftliche Bedenken und auch solche in bezug auf die Betriebsicherheit im Wege. Immerhin bleibt als das Verdienst von Schneiders, daß er — wohl als erster — auf die Anwendungsmöglichkeit der Wasserwage hingewiesen hat, um die Schleusung ohne Wasserverbrauch zu bewirken.

c) Bauweisen Proetel.

Unabhängig von Schneiders hat auch Proetel die Frage der Schleusung ohne Wasserverbrauch mit Hilfe von Verdrängerschleusen zu lösen gesucht und ist, fußend auf seiner schon über zwanzig Jahre zurückliegenden Haupterfindung<sup>4)</sup>, schließlich zu dem in Abb. 3 dargestellten Vorschlag für eine „Schwimmerschleuse mit Prebluftbetrieb“<sup>5)</sup> gekommen, die den Niederschlag seiner Untersuchungen bilden dürfte.

<sup>4)</sup> Franzius, Verkehrswasserbau, S. 497 bis 499.

<sup>5)</sup> Die Bezeichnung „Schwimmerschleuse“ will hier etwas ganz anderes sagen als die für die Gruppe 3 der Übersicht gewählte Bezeichnung „Schwimmerhebewerk“. Zur deutlichen Unterscheidung sei hier statt „Schwimmerschleuse“ „Verdrängerschleuse“ gesagt; die Unterscheidung gegenüber der Verdrängerschleuse von Proetel mit einem festen Verdränger ist durch den Zusatz „mit Prebluftbetrieb“ gegeben.



Die Lösung ist für eine Zwillingschleuse gegeben. Einrichtung und Wirkungsweise der Schleuse sind kurz folgende:

Zwischen den Schleusenammern  $a_1$  und  $a_2$  befindet sich ein Verdrängerbecken mit den Verdrängern  $b_1$  und  $b_2$ . Jeder Verdränger faßt die Hälfte des Schleusungswassers einer Schleusenammer in drei übereinanderliegenden Behältern ( $c_1, d_1$  und  $e_1$  bzw.  $c_2, d_2$  und  $e_2$ ). Der Verdränger  $b_2$  ist außerdem mit einer Luftkammer  $z$  von solcher Höhe ausgestattet, daß er, je nachdem durch Schieber  $r$  und Saugheberleitungen  $s$  die Verbindung mit  $a_1$  oder  $a_2$ , hergestellt ist, jeweils die obere Hälfte des Schleusungswassers jener Kammer aufzunehmen vermag. Der Verdränger  $b_1$  schwimmt entsprechend tiefer und kann die untere Hälfte des Schleusungswassers der einen oder der anderen Kammer aufnehmen. Ist, wie in Abb. 3a dargestellt,  $b_1$  gefüllt und in tiefster Stellung, dann ist  $b_2$  in Höchststellung gedrückt und entleert, die Schleusenammer  $a_1$  ist leer,  $a_2$  gefüllt. Die nach  $b_2$  führenden Saugheberleitungen sind gegen  $a_1$  geschlossen, gegen  $a_2$  offen<sup>6)</sup>, umgekehrt die Saugheberleitungen nach  $b_1$ . Eine kleine Senkung von  $b_2$  bewirkt Füllung seiner Behälter aus der oberen Hälfte von  $a_2$ ; gleichzeitig hebt sich  $b_1$  und gibt sein Wasser in die untere Hälfte von  $a_1$  ab. Jetzt werden die Saugheberleitungen zwischen  $a_1$  und  $b_1$  geschlossen und diejenigen zwischen  $a_2$  und  $b_1$  geöffnet, ebenso schließt man die Saugheberleitungen zwischen  $b_2$  und  $a_2$  und öffnet diejenigen zwischen  $b_2$  und  $a_1$ . Der Verdränger  $b_1$  senkt sich wieder, nimmt die untere Hälfte des Schleusungswassers von  $a_2$  auf und hebt den Verdränger  $b_2$ , damit er seinen Inhalt in die obere Hälfte von  $a_1$  abgeben kann;  $a_2$  ist jetzt geleert,  $a_1$  gefüllt. Die Anordnung der Schleusenammern, Verdränger und Saugheber im Grundriß zeigt Abb. 3b.

Bei der Proetelschen Schleuse kehren sowohl die Vorschläge von Schnapp (Schwimmer mit Belastungskammern und Gegenbehältern) wie diejenigen von Schneiders (zwei Verdrängerschwimmer in einem Verdrängerbecken) wieder. Durch sehr sinnreiche Verbesserungen wird aber erreicht, daß jeder Verdränger nur den Fassungsraum einer halben Schleusenfüllung haben muß. Dazu kommt noch die Luftkammer  $z$  mit

Schleusenfüllung (auf je eine Einzelschleuse berechnet) kommen noch hinzu die Schwimmkammern zum Ausgleich des Eigengewichts der Verdränger. Dieses Gewicht ist, da die Verdränger ein- und austauschen, ein wechselndes, und sein Ausgleich erfordert einen weiteren zusätzlichen Kosten- oder Arbeitsaufwand.

Auf eine Einzelschleuse angewendet, wirken sich die Vorschläge von Proetel wirtschaftlich bei weitem nicht so günstig aus wie für eine Zwillingschleuse, weil die zweite Schleusenammer durch ein Becken von gleicher Aufnahmefähigkeit ersetzt werden muß.

Ein zweiter Vorschlag von Proetel für eine Verdrängerschleuse ist in Abb. 4 für eine Zwillingschleuse dargestellt. Es handelt sich um eine Verdrängerschleuse mit heb- und senkbaren Behältern für die volle Schleusungswassermenge, die sich gegen feste Verdränger bewegen. Bestandteile und Wirkungsweise dieser Schleuse sind ohne weiteres klar: Die den Schleusenammern zugeordneten Wasserbehälter sind mit Hängestangen an einem Wagebalken aufgehängt und können gegen die über den Behältern an Trägern fest aufgehängten Verdränger bewegt werden. Hierdurch wird wechselweise der Wasserinhalt der Becken in die Schleusenammern gedrückt, die durch Saugheber mit den Behältern verbunden sind. Die gleichmäßige Füllung der Schleusenammern und Entleerung der Behälter wird durch entsprechende Höhenanordnung und durch gleiche wagerechte Flächen der Kammern und Verdränger erreicht.

Die Wasserersparnis muß hier teuer erkauft werden. Es sind erforderlich für jede Schleusenammer: der bewegliche Wasserbehälter vom Fassungsraum einer Schleusungswassermenge, der feste Verdränger vom gleichen Rauminhalt, die Kammer für den Behälter und Verdränger, also vom Fassungsraum der doppelten Schleusungswassermenge, der Wagebalken, die Beckenaufhängung, die Träger für die Verdränger und die Saugheberleitung. Bei so großen Aufwendungen wird diese Schleuse, so einfach und betriebssicher ihre Wirkungsweise auf den ersten Blick erscheint, wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig sein und kaum für eine Ausführung in Frage kommen. Noch weniger die Ausführung des Vorschlags für eine Einzelschleuse, wo zu den aufgezählten Aufwendungen noch die Gegengewichte der Wagebalken für die Hebung der Schleusenfüllung kommen und bei ganz wesentlicher Verminderung und Verkleinerung der einzelnen Bestandteile schließlich das mechanische Schiffshebewerk mit zwei Wagebalken übrigbleibt.

### III. Die Schwimmtrögschleusen.

Die Schleusen, bei denen als Hilfsmittel für die Schleusung ohne Wasserverbrauch ein schwimmender Trog als Schiffsbehälter benutzt wird, sind, wie erwähnt, zu unterscheiden in Unterwasserschleusen und in Tauchschleusen, beide so benannt in Anlehnung an die Bezeichnungen „Unterseeboot“ und „Tauchboot“. Bei den ersteren legt der Schwimmtrög seinen Förderweg lediglich durch Unterwasserfahrt zurück, bei den letzteren durch Tauchfahrt und Unterwasserfahrt bzw., wenn der Trog nicht völlig untertaucht, lediglich durch Tauchfahrt. Demgemäß wären die meisten bisher unter dem Namen „Tauchschleusen“ bekannten Schwimmtrögschleusen in „Unterwasserschleusen“ umzutauften. Das Kennzeichnende für die hier gewählte Bezeichnung sind die Lage und der Weg des Schwimmtröges in bezug auf den Wasserspiegel. Hiernach ist es ganz unrichtig, das Böhmlersche Schiffshebewerk, bei dem der Trog auf wagerechte, stets unter Wasser befindliche Schwimmer abgestützt

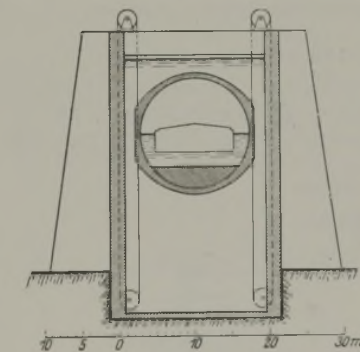


Abb. 5a. Querschnitt.

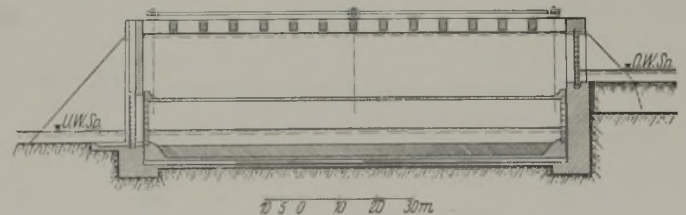


Abb. 5b. Aufsicht.

Abb. 5a u. b. Unterwasserschleuse Bauweise Rowley.

einem Fassungsraum von  $\frac{1}{3}$  einer Schleusenfüllung. Die Anordnung von je drei Behältern in jedem Verdränger und die Anwendung von Luft verschiedener Dichte (verdünnte Luft in den Behältern  $c$ , atmosphärischer Luftdruck in den Behältern  $d$  und verdichtete Luft in den Behältern  $e$ ) bringen den Vorteil mit sich, daß das Verdrängerbecken verhältnismäßig hoch zu liegen kommt und alle drei Behälter sich, obwohl in verschiedener Höhenlage, aus einer Verbindungsleitung gleichmäßig füllen, bzw. in sie entleeren. Das Verdrängerbecken ergibt sich so zwischen den beiden Schleusenammern mit verhältnismäßig niedrigen Aufwendungen, und die mit den Verdrängern heb- und senkbaren Saugheberverbindungen ohne erforderliche Eindichtung<sup>7)</sup> in Stopfbüchsen bilden in bezug auf Betriebsicherheit eine außerordentlich günstige Lösung gegenüber den Teleskopproben von Schneiders.

Alles in allem bedeutet die Proetelsche Schleuse einen wesentlichen Fortschritt gegenüber den Vorschlägen von Schneiders. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Anwendung von Luft verschiedener Dichte, die zwischen den Behältern  $c$  bzw.  $e$  pendelt, die Betriebsprobe erst wird bestehen müssen und auf jeden Fall ein gut Teil der Ersparnisse an Baukosten durch Erhöhung der Betriebskosten aufheben wird. Zu den Behälterräumen und dem Luftraum  $z$  im Ausmaß von  $\frac{1}{2} + \frac{1}{6} = \frac{2}{3}$  einer

durch die Luft gehoben wird, als „Tauchschleuse“ zu bezeichnen; „Schwimmerhebewerk“ ist die richtige Bezeichnung dafür.

#### a) Die Unterwasserschleusen.

##### 1. Bauweise Rowley.

Ein Modell dieser Schleuse war von Rowley anlässlich des Binnenschiffahrtkongresses zu Manchester im Jahre 1890 ausgestellt. Rowley

<sup>6)</sup> In Abb. 3a unrichtig dargestellt.

<sup>7)</sup> Dies gilt ohne weiteres nur für geringere Gefälle; im gewählten Beispiel der Abb. 3a ist der eine Heberschenkel in den Steigschacht eingedichtet.

fußte mit seiner Erfindung auf der von Robert Velden erfundenen „Tauchschleuse“ mit Wasserverbrauch, die diesem im Jahre 1794 in England patentiert worden war. Der weit wertvollere Gedanke der Schleusung ohne Wasserverbrauch mit Hilfe eines stets unter Wasser befindlichen Schleusentroges ist also nicht Velden, sondern Rowley zuzuschreiben. Die Anordnung dieser ersten Unterwasserschleuse in ihrer ursprünglichen, für nur kleine Schiffsgefäße bemessenen Form ist im VIII. Band, III. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften auf Seite 353 der 4. Auflage dargestellt.

Ein Grundquerschnitt und ein Längenschnitt der aus der Rowleyschen Erfindung hervorgegangenen Unterwasserschleuse ist in Abb. 5 wiedergegeben:

Um den Schiffstrog ständig unter Wasser halten zu können, ist es notwendig, zwischen der Oberwasser- und Unterwasserhaltung ein Becken einzuschalten, dessen Spiegel entsprechend höher liegt als der Oberwasserspiegel. Es ist gegen das Oberwasser und Unterwasser je durch ein Tor geschlossen. Ebenso hat der als Zylinder ausgebildete Schleusentrog je einen beweglichen Abschluß auf beiden Seiten. Nachdem das Schiff z. B. von der Oberwasserseite her in den an die obere Stirnwand des Trogbeckens wasserdicht angeschlossenen Trog eingefahren ist, werden Trog und Becken geschlossen, und der Trog wird unter dem geringen Aufwand an Arbeit, der zur Überwindung der Bewegungswiderstände erforderlich ist, — beiderseits sicher geführt — in die Unterwasserstellung abgelassen, dort an die unterwasserseitige Stirnwand des Tauchbeckens dicht angeschlossen und gibt seine Fracht an das Unterwasser ab, nachdem Becken- und Trogtor geöffnet sind.

Ein beachtenswerter Vorschlag, die Unterwasserschleuse zu verwirklichen, ist anlässlich des Wettbewerbs für ein Schiffshewerk im Zuge des Donau-Oder-Kanals bei Prerera von 36 m Höhe im Jahre 1905 von den holländischen Ingenieuren Wouter Coull und C. E. W. van Panhuys gemacht worden<sup>9)</sup>. Der Arbeit der beiden Ingenieure gebührt das Verdienst, daß sie die Vorzüge der Unterwasserschleuse gegenüber den übrigen Schiffshewerken zum Überwinden hoher Gefälle schon damals mit Recht stark betont und wohl zum ersten Male die Einzelheiten der Ausführung und des Betriebes einer solchen Schleuse behandelten. Dem Vorschlag haftet der Mangel an, daß der Schwimmstrog in seinen Endstellungen immer die gleiche Lage gegenüber dem Wasserspiegel des Trogbeckens einnimmt und die Anpassung an den veränderlichen Wasserstand der Haltungen durch Veränderung der Wassertiefe des Trogwassers, also durch Aufnahme von Wasser in den Trog oder Abgabe von Wasser aus ihm, bewirkt wird.

Erneute Beachtung hat sodann die Unterwasserschleuse anlässlich der Entwurfsbearbeitung für die Neckarkanalisation bei der Neckarbaudirektion Stuttgart gefunden. Bei dieser Gelegenheit sind in den Jahren 1918 bis 1923 eine Reihe von Patenten an Burckhardt erteilt worden, die auf eine Verbesserung der Einrichtungen und des Betriebes der Unterwasserschleuse in der ursprünglichen Grundform von Rowley abzielen.

## 2. Bauweise Böhmler.

Etwa zu gleicher Zeit versuchte Böhmler, der Unterwasserschleuse bei der Ausführung der Neckarkanalisation dadurch Eingang zu verschaffen, daß er ihr die aus Abb. 6 ersichtliche, grundlegend geänderte

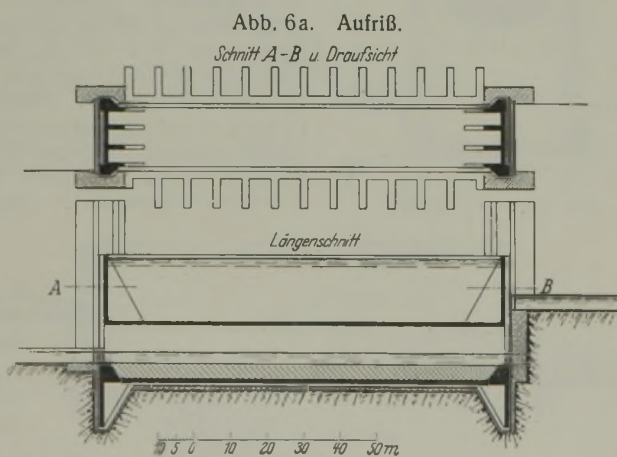


Abb. 6b. Grundriß.

Abb. 6a u. b. Unterwasserschleuse Bauweise Böhmler.

Form gab: er wählte als Verschlüsse des Trogbeckens bewegliche Abschlußschilde, die wie Schütze in lotrechten Falzen der beiderseitigen festen Widerlagerbauten unter ständiger Abdichtung gegen diese laufen

<sup>9)</sup> Siehe Bericht der genannten Ingenieure zum 10. Schiffahrtskongreß in Mailand, 1905.

und weit genug nach oben und unten reichen, um den Höhenweg des Schleusentroges mitmachen und dabei den Beckenabschluß aufrechterhalten zu können. Diese Schilde werden beiderseits von den offenen Trogenden durchbrochen, so daß nur für den Abschluß der Trogfüllung und des Kanals niedere Trog- und Haltungstore auf beiden Seiten notwendig werden, die eingeschleusten Schiffe aber die Verbindung mit der Außenwelt behalten. Trotz dieses unstreitbaren Vorzuges, der vor allem in einer sehr großen Vereinfachung des Schleusungsverfahrens besteht, hat sich auch die Böhmlersche Unterwasserschleuse nicht durchsetzen können.

## 3. Vorzüge und Nachteile der Unterwasserschleusen.

Das Schleusungsverfahren mit Hilfe der Unterwasserschleuse in jeder Form ist hinsichtlich der Wasserbewegung zweifellos ein sehr einfaches, fast vollkommenes zu nennen; der Trog schwebt völlig untergetaucht im Wasser und ist ohne wesentlichen Kraftaufwand nach jeder Richtung beweglich. Es hat den besonderen Vorzug — auch vor der Schiffsbeförderung mit der Kammerschleuse —, daß eine Hebung oder Senkung der Haltungswasserspiegel nicht stattfindet und das zu fördernde Schiff mit strömendem Wasser nicht in Berührung kommt. Wenn trotzdem mit diesem Schleusungsverfahren bisher ein praktischer Versuch nicht gemacht worden ist, so sind wohl in erster Linie die Bedenken daran schuld, die ganz gefühlsmäßig gegen die Betriebsicherheit der Schleusung unter Wasser bestehen, in zweiter Linie sind es wohl auch wirtschaftliche Bedenken.

Was zunächst die Betriebsicherheit anlangt, so sind alle nach dieser Richtung hin vorgebrachten Gründe gegen die Unterwasserschleuse nicht stichhaltig, wenn nur die geologischen Vorbedingungen für eine sichere Anlage des Trogbeckens gegeben sind. Die heutige Technik ist zweifellos in der Lage, einen brauchbaren Schleusentrog zu bauen, der allen Kräftebeanspruchungen auf die Dauer gewachsen und auch dicht genug ist. Das Gleiche gilt von den Trogabschlüssen. Fraglos ist, daß der Trog auch mit Hilfe von Motoren und Führungen zwangsläufig in vollständig wagerechter Lage sicher auf und ab bewegt werden kann. Alle Befürchtungen wegen des sicheren Anschlusses des Troges an die Stirnwände des Trogbeckens sind grundlos. Es gibt keinen besseren Abschluß gegen die Haltungen hin, als wenn der Koloß von Schwimmstrog nach allen Richtungen geführt vor der Öffnung liegt und durch den einseitigen Wasserdruck auf die große Stirnfläche des Trogs fest angepreßt wird. Da bedarf es von seiten des Ingenieurs nicht mehr viel, um diese Kräfte so auszunutzen, daß eine brauchbare, das Becken völlig sicher abschließende Dichtung entsteht, und man darf mit Bestimmtheit erwarten, daß hier ein mindestens ebenso sicherer und sicher wirkender Abschluß zustande gebracht werden wird, wie z. B. am Unterhaupt einer Schachtschleuse. Und welche Einrichtung der Unterwasserschleuse, und welchen Betriebsvorgang man auch sonst in Betracht ziehen mag, es ist durchaus unrichtig, gegen diesen einfachen Schleusungsvorgang betriebstechnische Bedenken geltend machen und behaupten zu wollen, die Unterwasserschleuse arbeite weniger sicher oder sie könne vor Betriebsgefahren weniger geschützt werden, als beispielsweise ein Aufzug, mit dem Trog und Schiff durch die Luft befördert werden. Es handelt sich offenbar vielmehr darum, ein Vorurteil gegen die Unterwasserfahrt zu überwinden, das nicht gerechtfertigt ist. Der Trogramm kann während der Fahrt mit elektrischem Licht taghell beleuchtet und durch Schächte ständig mit der Luft in Verbindung gehalten werden. Was man aber seitens der Betriebsleitung notwendigerweise von dem Schleusungsvorgang sehen muß, das kann auf eine Schalttafel des Betätigungsraums so klar und übersichtlich übertragen werden, als man es nur wünscht. Für die Mannschaft, die sich während der Schleusung im Trog aufhält, können völlig wasserabgeschlossene, mit der Luft in Verbindung gesetzte Räume geschaffen werden, in denen sie weitgehend gesichert ist. Es gibt somit bei Unterwasserschleusen keine Betriebsgefahr, die man zum mindesten nicht ebenso sicher bannen könnte, wie beim Schleusen mittels eines Schwimmerhebewerkes oder eines Aufzuges.

Zieht man einen Vergleich zwischen der Unterwasserschleuse in ihrer ursprünglichen Form mit vom Schwimmbecken losgelöstem Trog unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen und etwa noch vorzuschlagenden Verbesserungen mit der Böhmlerschen, so fällt er hinsichtlich der Betriebsicherheit zugunsten der ersteren aus. Das beiderseitige Offenhalten der Trogröhre bringt zwar eine große Vereinfachung der Ein- und Ausfahrt mit sich — und darin besteht zweifellos der Vorzug der Böhmlerschen Schleuse —, die großen Schilde als bewegliche Abschlüsse des Trogbeckens sind aber keine glückliche Lösung, und ihre Nachteile überwiegen die genannten Vorteile. Es ist und bleibt ein Wagnis, ein Becken von so großen Abmessungen mit Wasserdrücken, die 25 bis 30 und mehr Meter Wassersäule betragen, beiderseits nur mit beweglichen Verschlüssen von solchen Ausmaßen abschließen und während der Trogfahrten ständig dicht halten zu wollen. Für ein Schleusengefälle von nur 10 m Höhe sind beispielsweise Schilde von nicht weniger als 35 m Höhe mit einer Länge der Dichtungsflächen von je rd. 90 m erforderlich. Das Trogbecken der Böhmlerschen Schleuse erhält so zwei schwache Stellen von ungewöhnlichen Ausmaßen. Es erscheint darum aus technischen und wirtschaftlichen

Gründen unbedingt richtig, die großen Schilde, die im Bau und Betrieb besondere Aufmerksamkeit und Kosten erheischen, wieder zu verlassen und zu der ursprünglichen Unterwasserschleuse mit dem während der Schleusung für sich verschlossenen Schwimmrog und besonderen Haupterabschlüssen des Beckens zurückzukehren, wie dies bei den Burckhardtischen Vorschlägen bereits geschehen ist.

Etwas weniger günstig als die Frage der Betriebsicherheit der Unterwasserschleuse in der letzteren Form ist ihre Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Wo günstige Vorbedingungen für die Anlage des Trogbeckens gegeben sind, wo ein großer Höhenunterschied zu überwinden und das Speisungswasser schwer zu beschaffen ist, da kann die Unterwasserschleuse zweifellos in wirtschaftlicher Hinsicht den Wettbewerb mit der Sparschleuse aufnehmen, im übrigen wird von Fall zu Fall entschieden werden müssen, welches Hebewerk am wirtschaftlichsten ist. Hierbei können besonders die geologischen Verhältnisse eine entscheidende Rolle spielen, wie sich das bei der Stufe Niederfinow gezeigt hat.

Versucht man allgemein die Aufwendungen für eine Kammerschleuse mit Sparbecken und für die entsprechende Unterwasserschleuse miteinander zu vergleichen, so steht wohl außer Frage, daß die Herstellung des Schleusentroges geringere Kosten verursacht, als diejenige der Schleuse und der Sparbecken zusammen, selbst bei günstigsten Gründungsverhältnissen der Sparschleuse, und es entsteht die Frage, wieweit die Kosten für die Herstellung des Trogbeckens noch aus den Ersparnissen für die Trogherstellung gegenüber den Aufwendungen für die Schleuse mit den Sparbecken gedeckt werden können. Der besondere Aufwand der Unterwasserschleuse für die Erzielung der Wasserersparnis besteht in der Schaffung dieses Beckens. Während bei der Verdrängerschleuse die Wasserersparnis durch mehrmalige Schaffung des Raumes für das Schleusungswasser erkauft wird, muß bei der Unterwasserschleuse zum mindesten einmal der Fassungsraum für das Wasser hergestellt werden, das der Schleusentrog vom Trogwasserspiegel bis zum Trogscheitel verdrängt. Bei der Unterwasserschleuse in ihrer ursprünglichen Form wird in Wirklichkeit ein Wasserraum geschaffen, der die Spiegelbreite des Beckens zur Grundfläche und mindestens den Abstand Trogwasserspiegel bis Trogscheitel zur Höhe hat. Wendet man zur seitlichen Begrenzung des Trogbeckens Böschungen an, so wird er noch größer. Die Schaffung dieses Trogbeckens mit um mindestens 6 bis 8 m oder noch mehr über das Oberwasser erhöhtem Spiegel ist es, was samt den Aufbauten für die beiderseitigen Häupter und die Trogfürungen sehr erhebliche Kosten verursacht. Es entsteht daher die Frage: Lassen sich diese Kosten nicht verringern, oder läßt sich die Herstellung dieses erhöhten Beckens, das auch bautechnisch seine Schwierigkeiten hat, nicht umgehen?

Die Beantwortung dieser Frage führt zu der Aufgabe, Einrichtungen zu finden, die es ermöglichen, einen im Oberwasser schwimmenden Schleusentrog auf der Talfahrt untertauchen und bei der Bergfahrt wieder austauschen zu lassen; die Lösung der Aufgabe setzt an die Stelle der Unterwasserschleuse die Tauchschleuse.

b) Die Tauchschleusen.

1. Der Schwimmrog nach Bauweise Menickheim.

Als erster Versuch zu einer Tauchschleuse ohne Wasserverbrauch ist der seit April 1920 durch D.R.P. Nr. 389 387 geschützte und in den Grundzügen durch Abb. 7 wiedergegebene „Schwimmrog“ von Menickheim anzusprechen. Die Schleusung geschieht mit Hilfe eines oben offenen, im Oberwasser schwimmenden Troges *T*, der mit Belastungskammern *B* und Ausgleichbehältern *L* ausgerüstet ist, und durch das aus der Unterwasserhaltung entnommene Belastungswasser zum Eintauchen und Niedergehen bis Unterwasserhöhe gebracht wird. Dabei taucht der Rog annähernd bis zur Oberkante seiner Seitenwände ein, er könnte aber ebensogut oben geschlossen sein und völlig unter den Oberwasserspiegel untertauchen<sup>9)</sup>. Das Kennzeichnende der Schleuse von Menickheim ist, daß die Sohle der Belastungskammern des Troges zum mindesten herunterreichen muß bis zum Unterwasserspiegel, damit bei einer kleinen Senkung der Schleuse in Oberwasserstellung die Belastungskammern sich aus dem Unterwasser füllen und so den Rog in die Unterwasserstellung bringen können. Die Hebung geschieht entsprechend durch Rückgabe des Belastungswassers in die Unterwasserhaltung. Der Rog muß überdies über dem Oberwasserspiegel noch mindestens die Höhe des Schleusengefälles haben, also im ganzen mindestens doppelt so hoch sein als die Schiffahrtstufe. Bei großen und sehr großen Gefällen wird diese Schleuse mit Vorteil nicht mehr verwendet werden können, weil sie eine Vertiefung des Unterwasserkanals von mehr als Schleusengefällhöhe unter den Unterwasserspiegel verlangt.

<sup>9)</sup> Diese Umgestaltung wäre ohne weiteres möglich: Die Belastungskammern von der Höhe des Tauchweges des oben geschlossenen Schwimmroges wären nur so an den letzteren anzuhängen, daß ihre Sohle in der Oberwasserstellung des Troges mit dem Unterwasserspiegel auf gleicher Höhe läge.

Der Vorschlag Menickheim ist für kleinere Gefälle beachtenswert. Vorteilhaft für die Menickheimsche Lösung ist, daß als Gegenbehälter zu den Belastungskammern des Troges der Unterwasserkanal benutzt wird. So kommt man damit aus, den Raum für das ersparte Schleusungswasser nur einmal schaffen zu müssen. Dabei muß aber der Nachteil

in Kauf genommen werden, daß während der Trogfahrten im Ober- und Unterwasser durch Verdrängung und Wasserentnahme Strömungen entstehen. Wollte man diese vermeiden, so könnte dies nach Abschluß des Oberwasserkanals oberhalb des Schwimmtrogs geschehen mit Hilfe eines im Unterwasser schwimmenden Verdrängers vom Rauminhalte des Schleu-

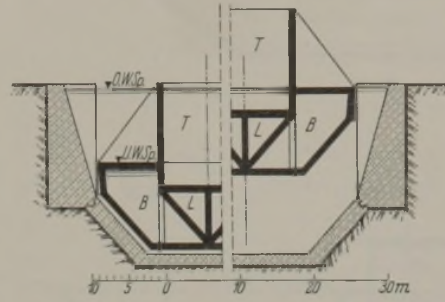


Abb. 7a. Querschnitt.

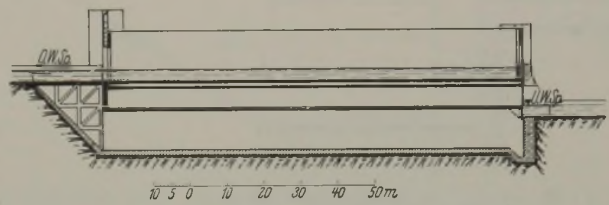


Abb. 7b. Aufriß.

Abb. 7a u. b. Tauchschleuse Bauweise Menickheim.

ungswassers und eines zweiten Behälters vom gleichen Fassungsraum, der auf den Schwimmer im Unterwasser mit Stützen so aufzusetzen wäre, daß er dem Wechsel des Schleusungsfälles folgen könnte und bei Oberwasserstellung des Schwimmtrogs mit seiner Sohle in Oberwasserspiegelhöhe läge. Das bei einer Talschleusung verdrängte Oberwasser könnte dann von diesem Trog aufgenommen werden und würde mit Hilfe des ins Unterwasser einsinkenden Verdrängers ebensoviel Wasser in die Belastungskammern des Schwimmtrogs verdrängen. Man erkennt also, daß hier völlige Wasserersparnis und Ruhelage der Haltungspiegel durch dreimalige Schaffung des Raumes für das Schleusungswasser erkauft werden müßte und könnte.

Dem Schwimmrog haftet außerdem der Nachteil an, daß er als Abschluß des Trogbeckens gegen das Unterwasser den beweglichen Schild der Unterwasserschleuse von Böhmler hat.

2. Die Tauchschleuse mit festem Gegenbehälter (Bauweise Rothmund).

Der Schwimmrog von Menickheim stellt in der vom Erfinder dargebotenen Form eine Tauchschleuse für den Sonderfall dar, daß der Rog oben offen ist, also nur ein Eintauchen und nicht ein Untertauchen stattfindet. Er ist überdies nur für beschränkte Gefällhöhen verwendbar. Der dafür angegebene Höchstbetrag von 12 m dürfte die wirtschaftliche Grenze erheblich überschreiten. Demgegenüber ist der in Abb. 8 bis 11 dargestellte Vorschlag des Verfassers für eine Tauchschleuse mit festem Gegenbehälter<sup>10)</sup> als eine allgemeine Lösung anzusprechen. Da der Vorschlag in der hier gewählten Form erstmals der Öffentlichkeit übergeben wird, dürfte es angebracht sein, ihn etwas eingehender zu erläutern: Abb. 8 zeigt im Querschnitt das Grundsätzliche der Einrichtung und Anordnung eines oben offenen Troges mit nur einer Belastungskammer und einem Gegenbehälter und läßt das Verfahren der Schleusung über Wasser erkennen, in Abb. 9 u. 10 ist der oben geschlossene Rog mit beliebiger Wölbung und die Schleusung durch Untertauchen und Unterwasserfahrt dargestellt.

Der schwimmende Schleusentrog *S* ist mit Belastungskammern  $a_1, b_1$  ausgestattet, die in Oberwasserstellung leer sind und dem Rog den seinem Gewicht samt Trogfüllung entsprechenden Auftrieb verleihen. Der Rog ist beiderseits durch Tore verschließbar. Das zu Tal schleusende Schiff fährt vom Oberwasser her in den vor dem Haltungsabschluß liegenden Trog ein, das Obertor wird geschlossen und der Rog in die Unterwasserstellung abgesenkt, indem den Belastungskammern so viel Wasserballast zugeleitet wird, als er beim Eintauchen an Wasser verdrängt. Das Belastungswasser wird bereitgehalten in Gegenbehältern  $a_2, b_2$ , die am Ufer in solcher Höhenlage und in solcher Form fest angeordnet sind, daß in jeder Gleichgewichtsschwimmlage des Troges zwischen der Oberwasser- und der Unterwasserstellung, bzw. der Stellung beim völligen Eintauchen, die Belastungskammern und Gegenbehälter untereinander gleiche Wasserspiegellage und Wasserspiegelfläche aufweisen, und daß die Wasserspiegel-

<sup>10)</sup> D. R. P. Nr. 457 466.

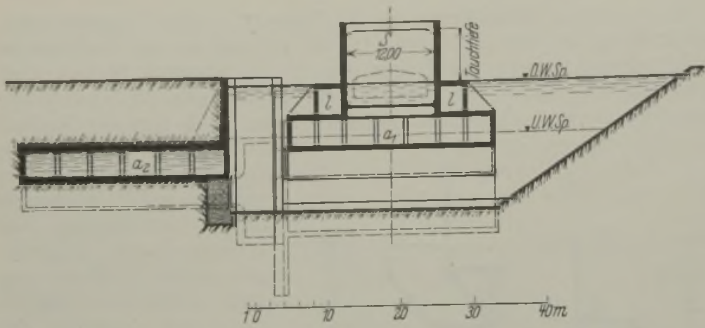


Abb. 8. Offener Tauchtrog in Oberwasserstellung, einstockige Bauweise.

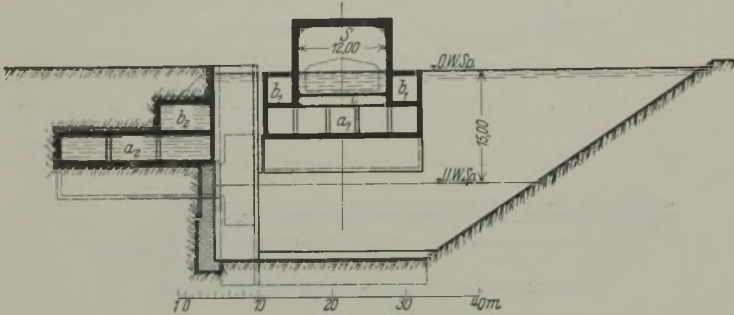


Abb. 9. Tauchtrog mit wagerechter Decke in Oberwasserstellung, zweistöckige Bauweise.

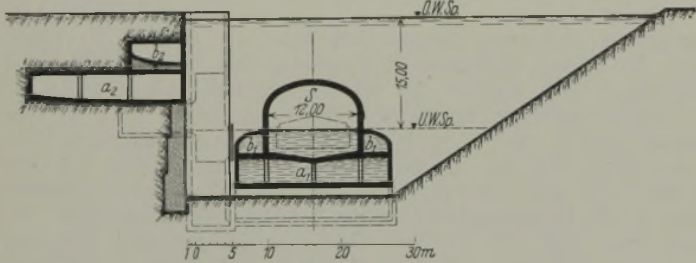


Abb. 10. Tauchtrog mit gewölbter Decke in Unterwasserstellung, zweistöckige Bauweise.

fläche der Behälter je doppelt so groß ist als die vom Trog verdrängte Spiegelfläche. Das ist die Kennzeichnung der Lösung. Sie ergibt sich daraus, daß einer Senkung des Troges um  $\Delta h$  die Abgabe einer Wasserschicht  $\Delta h/2$  aus den Gegenbehältern und die Aufnahme einer ebenso starken Schicht in die Belastungskammern entspricht. Ist die augenblicklich durch den Trog verdrängte Fläche  $F$ , so erreicht man die in diesem Augenblick erforderliche Belastungswassermenge  $\Delta Q = F \cdot \Delta h$  durch die doppelten Spiegelflächen in den Behältern:  $\Delta Q = 2F \cdot \frac{\Delta h}{2}$ .

Die Form und Anordnung der Behälter für das Pendelwasser ist dadurch erklärt. Sie können ein- und zweistöckig angeordnet werden. Der Schnappsche Grundgedanke der schwimmenden Behälter mit festen Gegenbehältern hat auch hier seine Anwendung wieder gefunden. Abb. 8 zeigt eine einstockige Anordnung der Pendelwasserbehälter, in Abb. 9 u. 10 ist die zweistöckige wiedergegeben. Die einfachste und gedrungenste Bauweise des Troges ist diejenige nach Abb. 9 u. 10. Hier müssen aber die Verbindungsleitungen zwischen den Belastungskammern und Gegenbehältern für jedes Stockwerk getrennt ausgeführt werden, wenn man nicht zu dem Proetelschen Ausweg der Anwendung verschiedener Luftdichte greifen will.

Die einstockige Bauweise erscheint deshalb nicht unzweckmäßig, weil es erwünscht ist, die Zahl der Verbindungsleitungen zwischen den beweglichen Belastungskammern und ihren festen Gegenbehältern möglichst niedrig zu halten. Überdies wird bei der einstockigen Anordnung zwischen dem Wasserspiegel (bei OW-Stellung) und der Belastungskammer der Platz frei für Luftkammern I, die ausgenutzt werden können zur Unterbringung von Pumpen, Motoren, Leitungen u. a. m., zur Schaffung von wasserdicht abgeschlossenen Mannschaftsräumen und schließlich zu Ballasträumen, die zum Ausgleich des Troggewichtes und u. U. zur Regelung der Schwimmhöhe bei verschiedenen Wasserständen notwendig sind.

Eine besonders große Bedeutung für die Sicherheit des Betriebes und damit zugleich für die Entscheidung der Frage, ob dem neuen Vorschlage der Tauchschleuse das für die praktische Anwendung erforderliche Vertrauen entgegengebracht werden darf, kommt der Verbindungsleitung zwischen dem Schwimmrog und dem Gegenbehälter zu. Sie hat die Aufgabe, das Pendelwasser in sekundlichen Mengen von 20 bis 30 m<sup>3</sup> zwischen den Behältern zu befördern. Dabei soll sie nicht nur 6 bis 8 m unter dem Haltungswasserspiegel den freien Wasserspiegel der Pendelwasserbehälter gewährleisten, sondern auch die durchsickernden Haltungswassermengen innerhalb niederster Grenzen halten und bei aller Betriebssicherheit möglichst geringe Arbeitsverluste infolge Reibung verursachen.

Für Verbindungsleitungen zwischen beweglichen Behältern oder zwischen festen und beweglichen Behältern liegen Vorschläge aus den Patenten von Schnapp, Schneiders und Proetel in Form von Gelenkrohren, Teleskoprohren und Saughebern vor. Alle drei Verbindungsarten erscheinen aber hier im Betriebe nicht zuverlässig genug. Am ehesten kämen für kleine und mittlere Gefälle noch Saugheber in Frage. Da sie aber beweglich sein und mit Stopfbüchsen eingedichtet werden müßten, so wären bei der großen Massenwirkung des Troges Beschädigungen dieser Saugheberleitungen zu befürchten. Biegsame Schlauchverbindungen verbieten sich schon wegen der hohen Kosten. Es mußte deshalb nach einer anderen Art, zwischen dem beweglichen Trog und dem festen Gegenbehälter eine Verbindungsleitung herzustellen, die den angegebenen Forderungen genügt, gesucht werden. Eine solche ergab sich schließlich in der aus Abb. 11 ersichtlichen Lösung<sup>11)</sup>:

Die Verbindungsleitung besteht aus den unter den Pendelwasserbehältern über ihre ganze Breite an Stelle der Böden angebauten Kanälen  $r_1$  und  $r_2$  mit je einem Verschlussventil  $v_1$  bzw.  $v_2$ , einem Notverschluss  $w_1$  bzw.  $w_2$  und aus dem Zwischenbehälter  $s$  mit den beiden Seitenwänden  $t_1$  und  $t_2$ . Die letzteren sind je mit einer Öffnung  $u_1$  bzw.  $u_2$  versehen, die vor den Stirnrahmen der Kanäle  $r_1$  und  $r_2$  liegen, und mit diesen durch die Dichtungsrahmen  $x_1$  und  $x_2$  verbunden. Der Behälter  $s$  stellt ein lotrechtes Leitungstück von gleicher Querschnittsgröße dar, wie sie die Kanäle und Durchflußöffnungen aufweisen. Die

<sup>11)</sup> Zum Patent angemeldet.

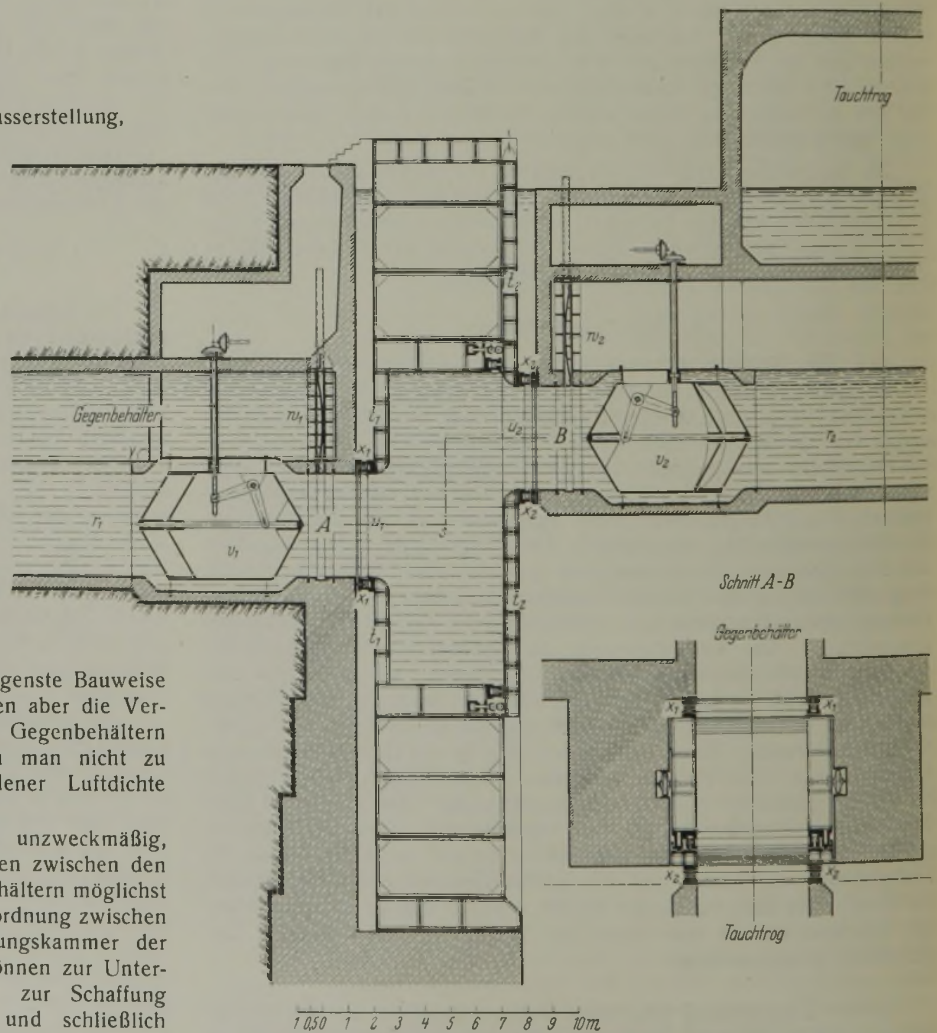


Abb. 11. Lotrechter und wagerechter Schnitt durch die Verbindungsleitung. Abb. 8 bis 11. Tauchschleuse mit festem Gegenbehälter, Bauweise Rothmund.

Seitenwand  $t_1$  ist fest mit dem Zwischenbehälter  $s$  verbunden und wird durch den auf ihr sitzenden Dichtungsrahmen  $x_1$  gegen den Leitungskanal des Gegenbehälters angepreßt. Die Wand  $t_2$  ist als lotrecht bewegliche Schütztafel ausgebildet und (in Oberwasserstellung des Troges gesehen) über die Decke des Zwischenbehälters hinaus um das Maß des lotrechten Tauchweges des Troges verlängert, so daß ihre Oberkante in tiefster Stellung mit der Deckenoberkante des Zwischenbehälters bündig wird. Gegen den Rahmen des letzteren ist die Schütztafel abgedichtet und trägt auf der Trogseite in entsprechender Höhe den Dichtungsrahmen  $x_2$ , der den Zwischenraum zwischen der Tafel und Stirnwand des Trogkanals elastisch überbrückt. Dieser Zwischenraum bildet den für seitliche Trogbewegungen während der Tauchfahrt erforderlichen Spielraum. Der Zwischenraum auf der anderen Seite (zwischen  $r_1$  und  $t_1$ ) könnte dagegen durch eine feste Verbindung überbrückt werden. Da aber der hydraulisch fest angepreßte Dichtungsrahmen gleich gute Dienste tut wie eine feste Verbindung, wird es vorgezogen, das Verbindungsglied zwischen Trog und Gegenbehälter, das alle Dichtungen in sich vereinigt, als völlig selbständigen Bauteil auszubilden, um ihn jederzeit nachsehen und auswechseln zu können. Zu diesem Zweck wird er ebenfalls als Schwimmkörper hergestellt, durch Füllen seiner Luftpumpe an seinen Standort abgesenkt — wo er zwischen zwei Führungspfählen auf einem Betonsockel mechanisch festgelegt wird — und durch Auspumpen wieder zum Hochschwimmen gebracht.

Die Tauchfahrten des Troges werden von der Schütztafel mitgemacht. Am Schlusse der Eintauchfahrt wird der hydraulisch angepreßte Dichtungsrahmen  $x_2$  jeweils selbsttätig zurückgezogen und der Trog dadurch für die Unterwasserfahrt völlig freigegeben, nachdem unmittelbar vorher das Ventil  $v_1$  in rascher Schließbewegung den entleerten Gegenbehälter gegen das Haltungswasser abgeschlossen hat. Die vollständige Loslösung des Schwimmtroges von der Verbindungsleitung und dem Gegenbehälter, die als ein besonderer Vorzug der gefundenen Lösung anzusehen ist, ist ohne weiteres möglich, weil die gefüllte Belastungskammer eines Abschlusses gegen die Haltung nicht mehr bedarf. Der Trog kann also jede Tiefenfahrt vollziehen wie die Unterwasserschleuse, der Gegen- und Zwischenbehälter bilden lediglich seine Ein- und Austauschvorrichtung. Bei Beginn der Austauschfahrt wird die dichtende Verbindung zwischen Trog und Schütztafel wieder selbsttätig vollzogen und ebenso das Verschlussventil des Gegenbehälters geöffnet.

Die Notverschlüsse dienen dazu, die Ventile bei entleerten Pendelwasserbehältern und leer gepumpten Leitungskanälen nachsehen und, wenn erforderlich, Ausbesserungen vornehmen zu können.

An der Stirn des Gegenbehälters nach der Unterwasserseite hin ist im tiefsten Punkte der Behältersohle ein Entleerungsrohr  $y$  eingelegt, das nach einem mit dem Unterwasser verbundenen Behälter in entsprechender Höhenlage führt und nur während der Unterwasserfahrt des Troges, also bei entleertem Gegenbehälter, geöffnet ist. Durch dieses und durch die freie Verbindung der Belastungskammer mit dem Haltungswasser während der Unterwasserfahrt wird die Pendelwassermenge bei jeder Schleusung selbsttätig geregelt: Ein Überschuß fließt durch das Rohr ab, ein Mangel wird aus der Haltung gedeckt.

Für die Zahl und Größe der Verbindungsleitungen zwischen den Pendelwasserbehältern ist das Maß von Arbeit bestimmend, das man während der Tauchfahrten durch Motorenkraft oder Wasserverbrauch aufwenden will, und das durch das zugelassene Druckgefälle zwischen den Spiegeln der Pendelwasserbehälter gegeben ist. Es erscheint wirtschaftlich und betriebstechnisch zweckmäßig, für Schleusen bis zu 120 m Nutzlänge nur eine einzige Verbindungsleitung in Schleusenmitte anzuwenden und die allgemein bei technischen Anlagen im Interesse der Betriebssicherheit erwünschte Herstellung von wichtigen Bauteilen in Doppelzahl dadurch zu ersetzen, daß ein Zwischenbehälter mit allen seinen Bestandteilen im Vorrat beschafft und bereitgestellt wird.

Die Zuverlässigkeit der vorbeschriebenen Verbindungsleitung im Betriebe hängt nun in hohem Maße von dem sicheren Arbeiten der Dichtungen ab. Für diese sind zwei verschiedene Ausführungsarten<sup>12)</sup> vorgesehen:

Die Preßdichtungen zwischen den lotrechten Leitungswänden ( $t_1$ ,  $t_2$ ) und den Stirnrahmen der Kanäle ( $r_1$ ,  $r_2$ ) werden gemäß Abb. 11 aus einem ringsum geschlossenen Dichtungsrahmen hergestellt, der aus einem Druckgehäuse und einem wagrecht verschieblichen, in das Gehäuse eingedichteten T-förmigen Dichtungsbalken besteht. Dieser wird, ähnlich wie ein Kolben in einem Zylinder, durch Wasser- oder Luftdruck gegen die Dichtungsfäche gepreßt oder von ihr abgehoben. Die Stirnseite des Dichtungsbalkens ist mit einer vorn abgerundeten starken Gummileiste besetzt, welche die Dichtung gegen die Stirnrahmen der Kanäle bewirkt. Um dem Rahmen als Ganzes eine gewisse Nachgiebigkeit zu verleihen, ist an den Ecken der Querbalken des T-Querschnitts jeweils unterbrochen und nur der Steg in Form eines Gummiblocks durchgeführt; hierdurch

<sup>12)</sup> Zum Patent angemeldet.

entstehen vier Gelenke, durch die jede Rahmenseite eine gewisse Beweglichkeit gegenüber den beiden anstoßenden erhält. Das Druckgehäuse steht in dauernder Verbindung mit einem Druckwasser- oder Druckluftbehälter, die Leitung kann während der Tauchfahrt auf sehr starken Druck geschaltet werden, so daß die feste und dichte und dabei doch elastische Verbindung zwischen den Seitenwänden und dem Trog bzw. dem Gegenbehälter während der Tauchfahrten unbedingt gewährleistet ist. Sobald der Trog die Schütztafel verläßt, wirkt der Druck auf Zurückziehen des Dichtungsrahmens. Der Schwimmtrog wird an den beiderseitigen Haupten, und soweit erforderlich, auch an dazwischenliegenden Punkten (Abb. 15 u. 16) bei seiner lotrechten Bewegung so geführt, daß seine Beweglichkeit nach allen Richtungen den Spielraum des elastischen Dichtungsrahmens nicht überschreitet.

Für die Abdichtung der lotrecht beweglichen Schütztafel  $t_2$  gegen den festen Leitungsrahmen sind zwei Dichtungen vorgesehen (Abb. 11), eine innere, die grundsätzlich ebenso ausgebildet ist wie die vorbeschriebene Preßkolbendichtung, und eine äußere, den inneren Dichtungsrahmen vollständig umschließende. Die lotrechten Seitendichtungen der letzteren werden durch sorgfältigste Paßarbeit als Labyrinthdichtung mit Druckschmierung hergestellt, die wagerechte obere und untere Dichtung wird als Rolldichtung ausgebildet und durch eine mit Gummi besetzte eiserne Walze bewirkt, die mit Hilfe einer auf Preßkolben sitzenden Gegenwalze hydraulisch auf die Schütztafel aufgepreßt und gegen den festen Rahmen abgedichtet wird. Da das Schütz auf Rollen läuft, die den Wasserdruck auf den Rahmen übertragen, so dürfte eine starke Reibung in den geschmierten Laufrahmen der Labyrinthdichtung nicht auftreten. Bei den Gummivalzen, die ununterbrochen frisch mit Wasser befeuchtet werden, ist das ebenfalls ausgeschlossen.

So darf erwartet werden, daß der äußere Dichtungsrahmen, ohne starke Reibungskräfte auszulösen, eine nahezu vollständige Dichtung bewirken wird und der innere Preßrahmen, um die Restdichtung zu übernehmen, nur noch mit geringem Druck aufgepreßt werden muß.

Ist auf solche Weise dafür Sorge getragen, daß die vorgesehenen Dichtungen der Verbindungsleitung allen Anforderungen genügen und die unvermeidlichen Wasserverluste sich innerhalb niederster Grenzen halten werden, so sind außerdem noch Sicherheitsvorkehrungen notwendig, die im Falle eines unberechenbaren oder unvorhergesehenen Versagens oder einer Beschädigung der Dichtungen oder infolge unrichtiger Bedienung einem Unfall entgegenwirken. Als solche sind die Ventilverschlüsse  $v$  der Öffnungen der Pendelwasserbehälter angeordnet. Die größte Gefahr besteht naturgemäß, wenn der Trog in Oberwasserstellung ist: Während aus- und eingeschleust wird, könnte durch Eindringen von Wasser in die leeren Belastungskammern ein rasches Einsinken des Troges und so ein Unfall herbeigeführt werden. Das wird bestimmt verhütet, wenn das Ventil  $v_2$  während der Oberwasserstellung zwangsweise geschlossen und blockiert ist. Der Endausschalter des Trogwindwerks für Oberwasserstellung leitet zugleich das Schließen dieses Ventils ein, und das Inbetriebsetzen des Trogwindwerks für Fahrt abwärts wird durch den Endausschalter für das Öffnen des Ventils bewerkstelligt. Das Ventil  $v_1$  ist umgekehrt während der Unterwasserfahrt und Unterwasserstellung des Troges geschlossen und während seiner Tauchfahrten und der Oberwasserstellung offen.

Diese Ventile werden zugleich als augenblicklich wirkende Verschlüsse eingerichtet und können als solche von der Schalttafel der Betriebsleitung und vom Innern des Troges aus elektrisch betätigt werden. Ihre Auslösung wird außerdem in bekannter Weise selbsttätig bewirkt, sobald die Durchflußgeschwindigkeit des Pendelwassers den für die Senkung und Hebung des Troges festgesetzten Höchstbetrag überschreitet. Der Trog kann also bei rascher Hebung oder Senkung mit Hilfe dieser „Notbremse“ jederzeit aufgefangen werden.

Hinsichtlich der Anordnung des Gegenbehälters besteht zunächst weitgehende Bewegungsfreiheit und Anpassungsfähigkeit an die örtlichen Verhältnisse. Man kann ihn hälftig teilen und beiderseits des Troges mit ihm gleichlaufend anordnen. Um möglichst wenig schwache Stellen zu schaffen und auch so wirtschaftlich als angängig zu arbeiten, ist aber einseitige Anordnung des ganzen Behälters sehr in Betracht zu ziehen. Die Wasserzuführung zu den Trogkammern kann trotzdem so gestaltet werden, daß die Belastung über die ganze Grundfläche gleichmäßig stattfindet. Auch die äußere Form, in die man den Gegenbehälter bringen will, ist gleichgültig. Man kann sich damit sehr weitgehend den örtlichen Verhältnissen anpassen und je nachdem ein Rechteck, Quadrat, einen Kreis usw. wählen.

Die Form des Troges ist durch die Anordnung der Belastungskammern mehr oder weniger bestimmt. Für oben geschlossene Tröge ist die Größe des erforderlichen lichten Raumes über dem Trogwasserspiegel von Wichtigkeit, denn diese — nicht mehr die Schleusungshöhe — bestimmt bei der Tauchschleuse die Größe der bei jeder Schleusung bewegten Wassermenge. Zylinderform des Troges ist praktisch nicht möglich, aber auch nicht notwendig. Auf jeden Fall läßt er sich durch zweckmäßige Anordnung der

Belastungskammern in eine sehr einfache und statisch günstige Form bringen.

Die Pendelwasserbehälter müssen mit der Außenluft in Verbindung gehalten werden. Dies geschieht durch Aufsetzen von Rohren, die bei den Belastungskammern durch die Trogwandung geführt werden und im Trogscheitel in Sammelrohre ausmünden, deren Enden durch die Belüftungsschächte der Schleusen ständig über den Oberwasserspiegel hinausreichen. Bei den Gegenbehältern begegnet die Be- und Entlüftung keinerlei Schwierigkeiten.

Um den Trog auch auf der Seite gegen den Oberwasserkanal hin sicher führen und die Ein- und Ausfahrt leicht bewerkstelligen zu können, ist dort die Herstellung zweier über die Trogoberkante hinausreichender und durch einen Querbalken verbundener Pfeiler — also eines rahmenförmigen Oberhauptes — notwendig.

In der vorstehenden Beschreibung sind alle Einzelheiten der Tauchschleuse mit festem Gegenbehälter, soweit sie ihr als Ein- und Austauschmechanismus für einen im Oberwasser einer Schiffahrtstufe schwimmenden Schleusentrog eigentümlich sind, erörtert; was darüber hinausgeht, ist in gleicher Weise der Unterwasser- wie der Tauchschleuse eigen. Da aber bis heute — abgesehen von der angeführten Arbeit der holländischen Ingenieure Wouter Cool und van Panhuys, deren Lösungen nicht ohne weiteres übernommen werden können — Entwurfsbearbeitungen für Tauchschleusen mit abgeschlossenen Schwimmtrögen nicht vorliegen oder nicht bekanntgeworden sind, so muß die vorliegende allgemeine Lösung des Tauchschleusenproblems auch die Antwort enthalten auf die Frage:

Wie werden die Trog- und Haltungsabschlüsse hergestellt und betätigt?

Die Trogabschlüsse können als eiserne Schwimmtore hergestellt, in die verstärkten Trogstirnen eingelassen und gegen sie mit Hilfe der gleichen Preßkolbendichtungen abgedichtet werden, wie sie für die Verbindungsleitungen zwischen dem Schwimmtrög und Gegenbehälter vorgesehen sind.

Das oberwasserseitige Tor *a* (Obertor) (Abb. 17a u. 18a) ist als Schiebetor gedacht und kann mit Hilfe einer am Oberhaupt neben der Trogstirn angeordneten Laufkatze *b* seitlich ausgezogen und auf Rollen *c* laufend so weit verfahren werden, bis die lichte Öffnung vollständig frei gemacht ist, ohne daß dabei das Tor die Führung im Trograhmen verläßt. Da das Tor als Schwimmtor ausgebildet ist, so hat die Laufkatze nur ein geringes Gewicht aufzunehmen, und das Aus- und Einfahren kann in kürzester Zeit stattfinden. Darüber hinaus wird man aber der Laufkatze doch eine solche Tragfähigkeit geben, daß sie nötigenfalls auch imstande ist, die Schwimmhöhe des Tores zu regeln, d. h. einen Teil des durch Auftrieb nicht ausgeglichenen Gewichtes über den Regelbetrag hinaus aufzunehmen.

Da das Schiff am Obertor frei ins Oberwasser ausfahren kann, so ist hier ein Haltungsstor nicht erforderlich. Dagegen wird man zweckmäßig vor dem Übergang des Oberwasserkanals in den Vorhafen einen Kanalabschluß anordnen, der es ermöglicht, das Tauchbecken zu entleeren und den Tauchtrög trockenzusetzen, um eine Nachschau oder Ausbesserung vorzunehmen.

Schwieriger als am Oberhaupt gestaltet sich die Lösung der Torfragen am Unterhaupt. Hier müssen folgende Richtlinien beachtet werden:

1. Möglichste Einfachheit und Sicherheit des Betriebes.
2. Freie Bewegung der Tore nach Lösung bzw. unter Vermeidung der dichtenden Anschlüsse an die Haltungsöffnung.
3. Möglichst geringe Wasserverluste.
4. Möglichst geringer Arbeits- und Zeitaufwand.

Unter Berücksichtigung dieser Forderungen hat sich die folgende aus Abb. 17b u. 18b ersichtliche Anordnung des Trog- und Haltungsstores sowie des Troganschlusses an das Unterhaupt ergeben:

Die Staumauer *d* des Haltungsabschlusses wird mit lotrechter wasserseitiger Wand ausgeführt und bildet um die Haltungsöffnung einen geschlossenen rechteckigen Rahmen, gegen den die Trogstirn *e* ringsum abdichten kann. Die letztere ist mit einem äußeren Dichtungsrahmen *f* aus Eichenholz ausgerüstet und einem inneren Preßkolbenrahmen *g* von der gleichen Bauweise wie der bei der Verbindungsleitung verwendete. Um die Trogstellung den wechselnden Unterwasserständen anpassen zu können, wird die Trogstirn, soweit erforderlich, schildartig nach oben und unten erweitert; auf dieser Erweiterung sitzen die Dichtungsrahmen.

Das Untertor *h* des Schwimmtröges ist ganz ähnlich gebaut wie das Obertor und mit Hilfe der Preßkolbendichtung *i* gegen die Trogstirn abgedichtet. Es ist so in den Endrahmen eingelassen, daß es in der Richtung gegen Unterwasser aus der Öffnung herausgezogen werden kann, und mit Riegeln *z* in der Schlußstellung festgehalten. Die Riegel sitzen auf einer lotrechten Welle *y*, die durch einen im Schwimmtrög untergebrachten Motor gedreht wird.

Das Haltungsstor *k* besteht aus einem Schütz, das von der Unterwasserseite her wie ein Deckel auf die Haltungsöffnung gesetzt, durch die Preßkolbendichtung *g'* gegen sie abgedichtet ist und durch zwei parallele Stützhebel *l* gegen die Haltungswiderlager *m* abgestützt wird. Die wasserseitige Fläche des Schützes liegt in der wasserseitigen Flucht der Staumauer, so daß zwischen ihm und dem Trogtor nur der kleine Zwischenraum entsteht, der als Spielraum für die Trogbewegung längs der Staumauer erforderlich ist. Das Haltungsstor ist wie das Trogtor als schwimmendes Schiebetor vorgesehen und an einem längs der Staumauer luftseitig verfahrbaren Laufkran *n* durch Vermittlung einer Laufkatze *o* aufgehängt, welche in der Ein- und Ausfahrtrichtung der Schiffe verfahren wird. Auch die lotrecht miteinander verbundenen Gelenkstützhebel sind durch eine mit Gelenken versehene Zahnstange *p* an einem Windwerk des Laufkrans beweglich aufgehängt. Mit Hilfe der Laufkatze und des Laufkrans kann also das Haltungsstor — dessen Gewicht durch den Auftrieb bis auf einen geringen Betrag ausgeglichen ist — zunächst bis vor die seitliche Tornische *q* kanalabwärts und dann quer dazu in die Tornische mit geringstem Kraft- und Zeitaufwand verfahren werden. Und mit ihm das Trogtor. Es bedarf dazu nur einer Kupplungsvorrichtung, durch welche die beiden Tore rasch und sicher miteinander verbunden werden.

(Schluß folgt.)

Alle Rechte vorbehalten.

## Über die Bedeutung des Messens der Bestandteile des Betons.

(Vortrag, gehalten am 10. März 1929 in Leipzig in einer Vortragsreihe der Deutschen Gesellschaft für Bauingenieurwesen und des Forschungsinstituts für Maschinenwesen im Baubetrieb an der Technischen Hochschule Berlin.)

Von Otto Graf, Stuttgart.

Wer baut, hat Baustoffe zu verarbeiten mit der Bedingung, daß sofort oder nach bestimmter Zeit Bauwerke entstehen, die im ganzen oder in gewissen Teilen eine bestimmte Widerstandsfähigkeit gegen Belastung, Regen, Frost, hohe Temperaturen, Wärmedurchgang usw. aufweisen.

Dazu kennen wir für den Beton aus zahlreichen Versuchen die Bedingungen, die bei einem gewissen Zementaufwande für die Erlangung von Beton höchstmöglicher Widerstandsfähigkeit einzuhalten sind. Die zweckmäßigen und weniger zweckmäßigen Baustoffe können eindeutig unterschieden werden. Es ist möglich, Beton bestimmter Festigkeit zu gewährleisten.

Wenn Beton mit bestimmten Eigenschaften zu schaffen ist, so besteht nicht bloß das Bestreben, diese Eigenschaften zu erlangen, sondern auch jedes unnötige Mehr an Festigkeit usw. zu vermeiden, wenn diese Begrenzung wirtschaftliche Bedeutung hat. Wenn der Konstrukteur für das Fundament eines Gebäudes Beton mit mindestens 70 kg/cm<sup>2</sup> Druckfestigkeit fordert, so entsteht für den bauausführenden Ingenieur kein Verdienst, wenn er Beton mit 200 kg/cm<sup>2</sup> Druckfestigkeit herstellen läßt, weil das Mehr an Festigkeit nutzlos und die erforderliche geringere Festigkeit billiger herstellbar ist.

Die Aufgabe lautet also: Herstellung von Beton mit Mindesteigenschaften, die für nötig befunden sind, ohne daß diese

Eigenschaften bedeutend übertroffen werden, wenn die unnötige Verbesserung der Betoneigenschaften einen Mehraufwand verursacht. Diese Forderung kann nur erfüllt werden, wenn bei der Herstellung des Betons die Umstände tunlichst eingeschränkt werden, die eine Änderung der Eigenschaften bewirken.

Diese Aufgabe gilt für alle Werkstoffe allgemein; sie ist uns beim Stahl besonders geläufig; beim Beton wird sie auch schon bewußt durchgeführt, am besten in großen Zementwarenfabriken, auf großen Baustellen, bei der Herstellung von Betonstraßen usw.

Welche Umstände zwingen uns im Sinne des Gesagten zu besonderen Vorkehrungen bei der Herstellung von Beton bestimmter Eigenschaften?

Bei Erörterung dieser Frage sei zunächst von Gepflogenheiten ausgegangen, die zurzeit noch vorherrschen.

Wenn die Zusammensetzung des Betons bezeichnet wird, so geschieht dies meist durch einfache Verhältniszahlen, wie „1:5“, „1:8“ usw., wobei im ersten Falle der Beton aus 1 R.-T. Zement und 5 R.-T. eines bestimmten oder unbestimmten Gemenges von Sand und Kies oder Schotter bestehen soll. Diese Art der Mengenbezeichnung setzt — wenn sie eindeutig sein soll — voraus, daß das Verhältnis der Raumgewichte des Zements und der Zuschlagstoffe stets ein bestimmtes oder doch wenig veränderliches sei. Diese Voraussetzung ist nicht richtig, weil das

Raumgewicht des Zements bekanntlich in hohem Maße von der Vorbehandlung, der Art des Einfüllens in die Meßgefäße, der Größe der Meßgefäße usw. abhängt, im ganzen für praktische Verhältnisse etwa zwischen 0,9 bis 1,4 kg/l schwankt.<sup>1)</sup> Ferner ist das Raumgewicht des Sands und des Kiessands veränderlich, vor allem mit dem Wassergehalt des Materials, wie schon lange bekannt ist und zur Wiederholung aus Abb. 1

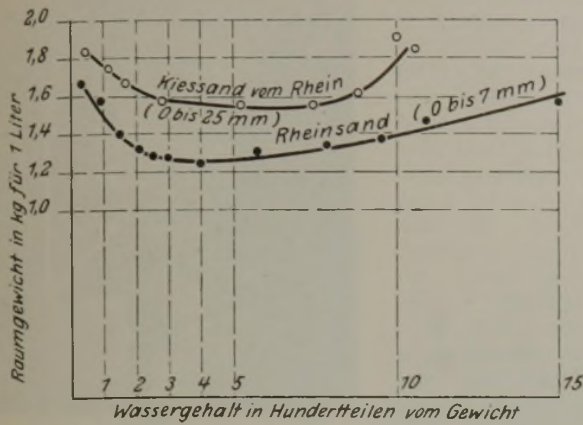


Abb. 1.

hervorgeht. Hier wog 1 l Kiessand mit 0,4% Wasser 1,84 kg, mit 5 bis 8% Wasser nur 1,55 kg. Unter solchen nicht außergewöhnlichen Umständen kann die Mischung „1:5“ bestehen

- a) aus 0,9 G.-T. Zement und 5 · 1,84 = 9,2 G.-T. Kiessand, wenn der feingemahlene Zement sehr locker eingefüllt wird und der Kiessand lufttrocken ist, wobei etwa 190 kg Zement zu 1 m<sup>3</sup> fertig verarbeitetem Beton verbraucht werden, oder
- b) aus 1,4 G.-T. Zement und 5 · 1,55 = 7,75 G.-T. Kiessand, wenn der Zement aus abgelagerten, in Stapeln gepreßten Säcken oder in anderer gleichwirkender Weise abgefüllt wird und der Kiessand rd. 5 bis 8% Wasser enthält, wobei etwa 325 kg Zement in 1 m<sup>3</sup> fertigem Beton enthalten sind, oder
- c) aus Mischungen, die zwischen a) und b) liegen.

Das Beispiel zeigt, daß der Zementgehalt der Mischung in hohem Maße von den Umständen abhängt, die sich stündlich ändern können, wenn das Mischungsverhältnis lediglich nach dem Verhältnis der Raumeile eingesetzt wird; im vorliegenden Falle besteht die Möglichkeit, daß der Zementgehalt fertig bearbeiteten Betons zwischen rd. 190 und 325 kg m<sup>3</sup> schwankt, ohne daß eine Abweichung von dem Mischungsverhältnis „1:5“ eintritt. Werden die Zuschlagstoffe gewechselt, so können noch größere Unterschiede auftreten. Die hier besprochene Art des Messens der Bestandteile kann offensichtlich zu einer recht unvollkommenen Ausnutzung der Bindemittel führen und Mißerfolge hervorrufen, wenn die bezeichneten Einflüsse nicht von vornherein berücksichtigt sind, also im Mittel bedeutend mehr Zement beigegeben wird, als bei gleichbleibender Mischung nötig ist.

Das soeben gezeigte Beispiel dürfte zunächst zeigen, daß es sich empfiehlt, wenigstens den Zement nach Gewicht beizumischen und dem Zementgehalt für 1 m<sup>3</sup> fertig verarbeiteten Beton festzulegen, also z. B. zu sagen: „300 kg Zement in 1 m<sup>3</sup> fertig verarbeiteten Beton“. Dieser Forderung wird heute schon oft entsprochen. Wir finden in führenden Zementwarenfabriken, daß der Zement nach Gewicht gemessen wird; wir finden auf großen Baustellen Zementbehälter, die nur über Waagen abgeben, die sich nach

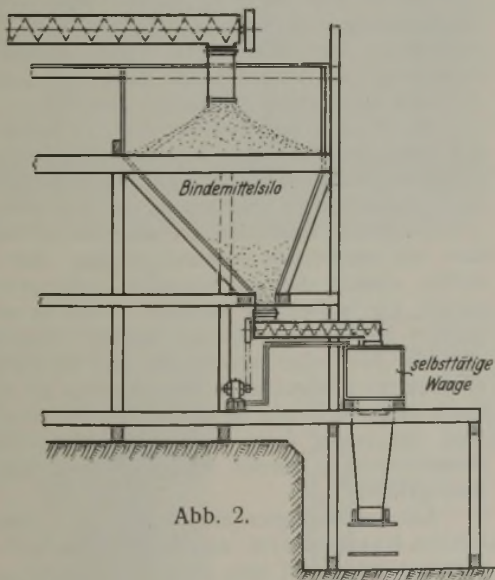


Abb. 2.

Füllung auf ein bestimmtes Gewicht entleeren (Abb. 2). An anderen Stellen werden die Mischungen so abgestimmt, daß der Zement nur als

ganze Sackfüllung beigegeben wird. Jeder Sack wiegt mit genügender Genauigkeit 50 kg; damit kann das Wiegen auf der Baustelle unter bestimmten Verhältnissen vermieden werden.

Die übliche Bezeichnung „1:5“ usw. kennzeichnet ferner die noch weitverbreitete Gepflogenheit, die Zuschlagstoffe als geschlossene Masse zu beschaffen und als solche zu verwenden, ohne den Anteil des Sands und der groben Zuschläge in Grenzen zu verlangen, die sachgemäße Ausnutzung des Bindemittels ermöglichen.

Dazu zeigt Zusammenstellung 1 unter a) vier Mischungen, die in der bisher üblichen Weise durchweg als 1 R.-T. Zement und 5 R.-T. Kiessand bestehend zu bezeichnen sind. Veränderlich war das Verhältnis „Sand zu Kies“, also der Sandanteil, vergl. erste Spalte. Bei gleicher Konsistenz und gleichem Zementaufwande ging die Druckfestigkeit mit wachsendem Sandgehalt des Kiessands erheblich zurück. Wenn der Kiessand zu 1/3 aus Sand bestand, betrug die Druckfestigkeit 259 kg/cm<sup>2</sup>; stieg der Sandanteil auf 3/5, so sank die Druckfestigkeit auf 159 kg/cm<sup>2</sup>, also auf rd. 3/5 des oberen Wertes. Ähnliche Unterschiede stellten sich bei den in Zusammenstellung 1 unter b) mitgeteilten Versuchen ein. Hier ging die Druckfestigkeit von 277 auf 134 kg/cm<sup>2</sup> zurück, wenn der Sandanteil von 2/5 auf 3/4 stieg.

Zusammenstellung 1.  
Weich angemachter Beton.  
Alter: 28 Tage.

Lagerung: 7 Tage unter feuchten Tüchern, dann trocken.

Sand: Kies (G.-T.)	Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Zement in 1 m <sup>3</sup> Beton kg	Raumgewicht kg/dm <sup>3</sup>
a) Beton aus 1 R.-T. hochwertigem Portlandzement und 5 R.-T. Kiessand vom Rhein.			
1:2	259	276	2,32
2:3	237	273	2,30
1:1	222	272	2,26
3:2	159	272	2,20
b) Beton aus 1 R.-T. Tonerdezement und 8 R.-T. Kiessand vom Rhein.			
2:3	277	190	2,27
1:1	214	188	2,22
3:2	172	191	2,17
3:1	134	189	2,06

Hiernach erwies sich der Sandgehalt des Betons unter sonst gleichen Verhältnissen von erheblicher Bedeutung. Dabei ist besonders hervorzuheben, daß unter praktischen Verhältnissen noch größere Unterschiede der Sandgehalte und damit noch bedeutendere Senkungen der Festigkeit zu beobachten sind. Diese Feststellung führte zu der Anschauung, daß in erster Linie die Eigenschaften des Mörtels für die Widerstandsfähigkeit des Betons maßgebend sein werden. Für die Druckfestigkeit des Betons müßte demnach die Druckfestigkeit des Mörtels entscheidend sein. Daß dem so ist, geht aus Zusammenstellung 2 hervor. Hier finden sich links Zahlen zu vier Versuchsreihen mit Stampfbeton, bei denen der Mörtel gleich und die Menge der groben Stücke verschieden war. Zur ersten Reihe ist nur Mörtel verwendet worden. Seine Druckfestigkeit betrug 360 kg/cm<sup>2</sup>. Nach Zugabe von Schotter wurde die Druckfestigkeit zu 379 bis 405 kg/cm<sup>2</sup> ermittelt. Die Druckfestigkeit änderte sich demnach nur unerheblich. In der Zusammenstellung sind rechts Ergebnisse eingetragen, die mit weich angemachtem Beton erlangt wurden, auch hier erwies sich die Mörtelfestigkeit maßgebend. Wir müssen somit dafür sorgen, daß der Beton fortlaufend den gewollten Mörtelgehalt aufweist.

Zusammenstellung 2.

Stampfbeton aus Portlandzement, Rheinsand 0 bis 7 mm und Kalksteinschotter 7 bis 40 mm. (Zt, Sd, Sch)			Weich angemachter Beton aus Portlandzement, Rheinsand 0 bis 7 mm und Rheinkies 7 bis 25 mm (Zt, Sd, K)		
Zusammensetzung in R.-T.	Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Zt in 1 m <sup>3</sup> Beton kg	Zusammensetzung in R.-T.	Druckfestigkeit kg/cm <sup>2</sup>	Zt in 1 m <sup>3</sup> Beton kg
1 Zt 2 Sd	360	730	1 Zt 2 Sd	311	650
1 Zt 2 Sd 1 Sch	379	570	1 Zt 2 Sd 2 K	313	390
1 Zt 2 Sd 2 Sch	399	470	1 Zt 2 Sd 3,5 K	294	310
1 Zt 2 Sd 4 Sch	405	340	1 Zt 2 Sd 5 K	270	250

Damit kommen wir zu der Forderung, daß das Verhältnis von Sand zu Kies sich nur in sehr engen Grenzen ändere; diese Bedingung läßt sich gut erfüllen, wenn der Sand (Körnung 0 bis 7 mm) und das

<sup>1)</sup> Vergl. auch „Entwurf und Berechnung von Eisenbetonbauten“, Band I, Seite 7.

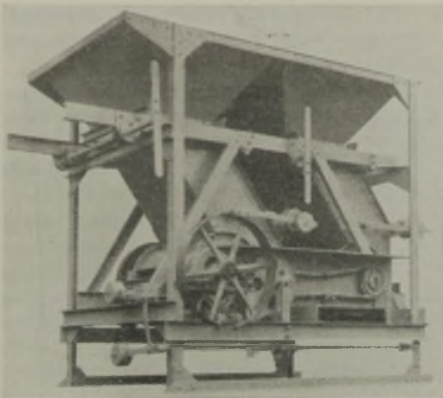


Abb. 3.

Schenck, Darmstadt) dargestellt.

Für einfache Verhältnisse werden zurzeit auch Transportwagen mit eingebauter Waage geliefert (Müller & Sohn, München)<sup>2)</sup>.

Die Feststellung, daß im Beton die Festigkeit des Mörtels vor allem Einfluß nimmt, gab weiter Anlaß, festzustellen, welche Kornzusammensetzung des Mörtels als die zweckmäßigste anzusehen ist. Die Ver-

größere Material getrennt gemessen werden. Dieses Verfahren wird oft durchgeführt. Abb. 3 zeigt einen Apparat der Allgemeinen Baumaschinengesellschaft, Abb. 4 einen solchen von Gauhe, Gockel & Co., beide nach Raummaß messend. Eindeutiger geschieht das Messen von Sand und Kies, wie schon mit Abb. 1 gezeigt ist, durch Gewichtsbestimmung; in Abb. 5<sup>2)</sup> und 6 sind solche Anlagen (von

Linie 5 der Abb. 11 zusammengesetzt ist, in bezug auf Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Abnutzung, Schwinden eine hohe Ausnutzung des Bindemittels lieferte und im ganzen genommen in erster Linie anzustreben ist. Deshalb ist es bei hochwertigem Beton vorteilhaft, auch den Sand aufzubereiten, und zwar in zwei oder mehr Kornstufen (z. B. 0 bis 2 und 2 bis 7 mm), die dann von Fall zu Fall für verschiedenen Bedarf zusammengestellt werden. Wir haben also unter gewissen Verhältnissen nicht bloß Sand und Kies usf., sondern mehr Sorten zu messen, um guten Mörtel zu schaffen.

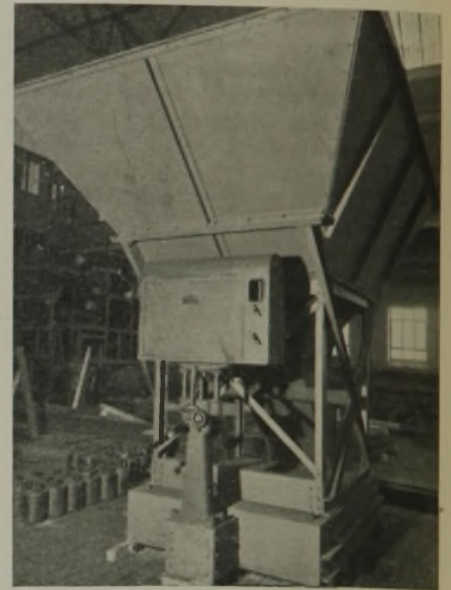


Abb. 6.

In einzelnen Zementwarenfabriken wird so verfahren. Aus den Behältern werden die rechnungsmäßig anzugebenden Mengen der einzelnen Körnungen unter gleichzeitigem Wägen entnommen. Eine Einrichtung für solche Verhältnisse zeigt Abb. 12 (gebaut vom Losenhausenwerk).

Im Falle der Abb. 12 wird der Wagen nacheinander unter die Auslauföffnungen der Behälter gefahren, und dort werden die erforderlichen Mengen unter Abwägen entnommen. Dazu gehören Waagen, die nacheinander wägbare Mengen bestimmen lassen, also Waagen mit einer entsprechenden Zahl Zusatzwaagen, wie Abb. 12 zu entnehmen ist.

Diese Art der Zusammenstellung einer Mischung, auch mit Hängewagen einfach ausgeführt, hat u. a. den Nachteil, daß das Mischgut zusammengeholt werden muß und daß Fehler beim Wiegen eines Bestandteils bei Entnahme des folgenden entgegengesetzt auftreten. Es sind deshalb Einrichtungen gebaut worden, die unter jedem Behälter eine bestimmte Menge entnehmen lassen und das Mischgut in einer Rinne oder auf einem Band sammeln.

Abb. 13 zeigt die Anordnung des Hüttenwerks Sonthofen; die Materialien werden auf ein Förderband abgeworfen, wobei die Zahl der Entnahmestellen beliebig vermehrt werden kann. Im Falle der Abb. 13 wird nach Raunteilen gemessen; nur bei gleichbleibendem Feuchtigkeitszustand und unter weiteren besonderen Voraussetzungen wird hier fortlaufend gleich gemessen. Ferner ist beim Einstellen der Mischung nicht ohne weiteres erkennbar, welche Mengenverhältnisse zustande kommen. Auch hier ist anzustreben, die Mischungen unter Wägen zusammenzustellen, wobei die Anordnung nach Abb. 13 generell beibehalten werden kann.

Abb. 14 zeigt für diese Art des Messens Waagen unter dem Auslauf von Behältern, die gleichzeitig entleert werden und deshalb bestimmte zusammengesetzte Mischungen liefern (Ausführung des Librawerks). Die Entleerung der Waagebehälter kann nur stattfinden, wenn jede Waage nach den aufgesetzten Gewichten gefüllt ist.

Die Waagen nach Art der Abb. 14 werden durch mehrere Firmen, seit langer Zeit für andere Aufgaben (Glashütten, chemische Industrie usf.) geliefert. Für den Betonbau genügen einfachere Waagen; bemerkenswerte Ausführungen sind bereits auf dem Markt.

Auf großen Baustellen, die ein oder mehrere Jahre betrieben werden, kann wie beschrieben verfahren werden. Auf mittleren und kleinen Baustellen werden die als besonders geeignet bezeichneten Vorkehrungen zurzeit nur in Betracht kommen, wenn es sich um die Herstellung besonders hochwertigen Betons handelt. Soll darüber hinaus das Bestmögliche verarbeitet werden, so wird für Firmen, die in großen Städten arbeiten, zu erwägen sein, Betonfabriken zu errichten und die Baustellen durch diese versorgen zu lassen. Wir kennen dieses Verfahren in Deutschland seit langer Zeit. In den Vereinigten Staaten wird diese Art der Betonherstellung zurzeit lebhaft erörtert und an verschiedenen Orten durchgeführt.

Aus dem Gesagten erhellt in großen Zügen, wie das Messen der festen Bestandteile des Betons auszuführen ist, wenn große Gleichmäßigkeit des Zementgehalts, auch fortlaufend möglichst gleiche Körnung nötig ist oder sich als wirtschaftlich erweist.

Ebenso wichtig wie das Messen der Gesteinsteile ist das Messen der Menge des Anmachwassers. Wir werden durch Abb. 15 bis 17 erinnert, daß mit Zunahme des Wasserzusatzes die Festigkeit des Betons abnimmt, das Schwinden größer ausfällt usf. Maßgebend ist das Ver-

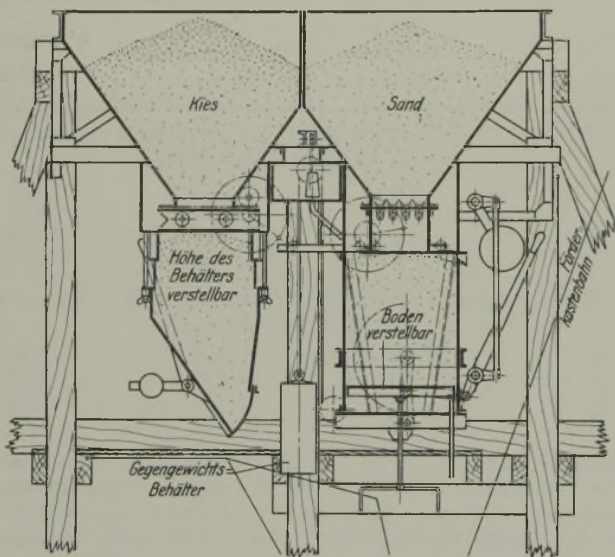


Abb. 4.

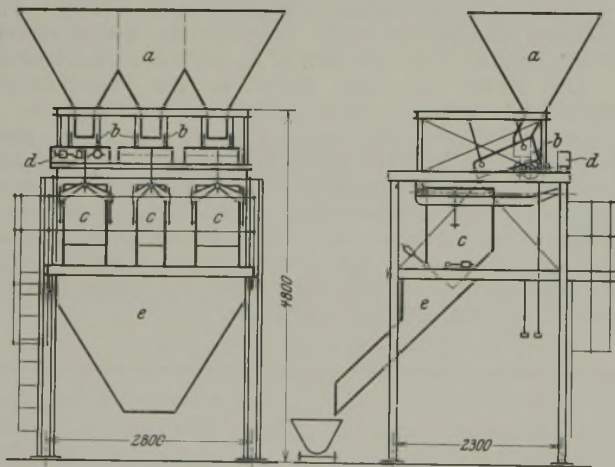


Abb. 5.

teilung der Körnung im Sand, die mit bestimmtem Zementgehalt höchste Festigkeit, geringstes Schwinden, geringste Abnutzung usf. liefert, ist bekannt, aber nicht oft in der Natur zu finden, außerdem ist sie mit verschiedenem Zementgehalt verschieden zu wählen. Wir sehen in Abb. 7 bis 11 für Mörtel mit Rheinsand, daß Mörtel 5, d. h. der Mörtel, der nach

<sup>2)</sup> Aus den Behältern a wird das Material durch die Schüttelrinnen b den Waagen c zugeführt, die hier drei verschiedene Stoffe in bestimmten Mengen halbautomatisch wägen. Der fertige Gemengesatz tritt in den Auslauf e.

<sup>3)</sup> Vergl. von Meng, Zement 1929, S. 18 u. f.



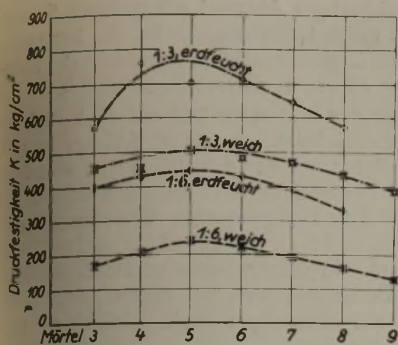


Abb. 7.

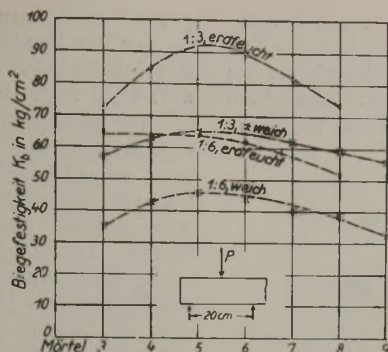


Abb. 8.

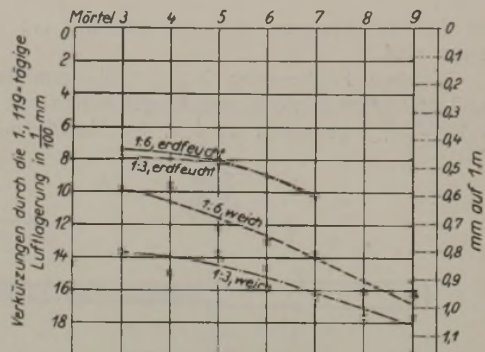


Abb. 9.

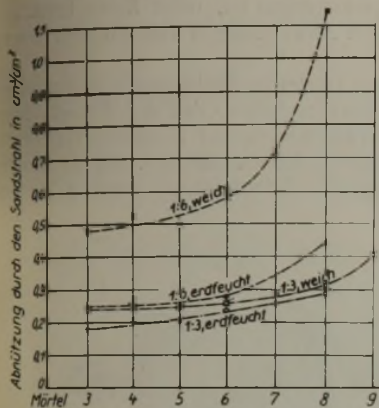


Abb. 10.

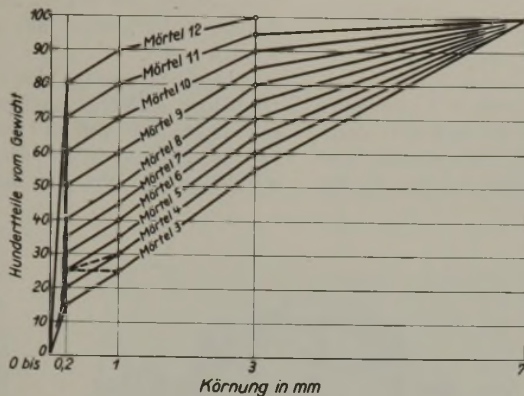


Abb. 11.

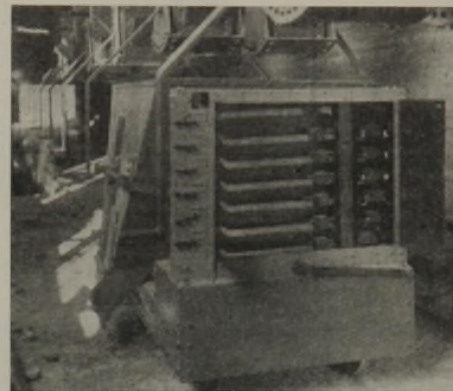


Abb. 12.

hältnis des Wassergehalts des frischen Betons; der Wasserzusatz ist deshalb auf das unbedingt Nötige zu beschränken. Vor der Bauausführung ist mit bewährten Geräten<sup>4)</sup> festzulegen, welche Konsistenz des Betons herzustellen ist und welcher Wasserzusatz (besser welches Verhältnis des

Wassers zum Zement) einzuhalten ist, um die nötige Festigkeit zu erreichen. Um die Vorprüfungen zur Geltung bringen zu können, muß die Wasserzugabe zuverlässig eingestellt werden können. Heute treffen wir auf manchen Baustellen Mischer, an denen das Mischwasser nach Augenschein gemessen wird und lediglich ein Absperrhahn zum Messen des Mischwassers vorhanden ist. Bei den im vergangenen Jahre in Siemensstadt durchgeführten Versuchen mit Mischmaschinen sind die meisten Mischer

<sup>4)</sup> Über die in erster Linie geeignete Ausbreitprobe vergl. Beton u. Eisen 1926, S. 210.

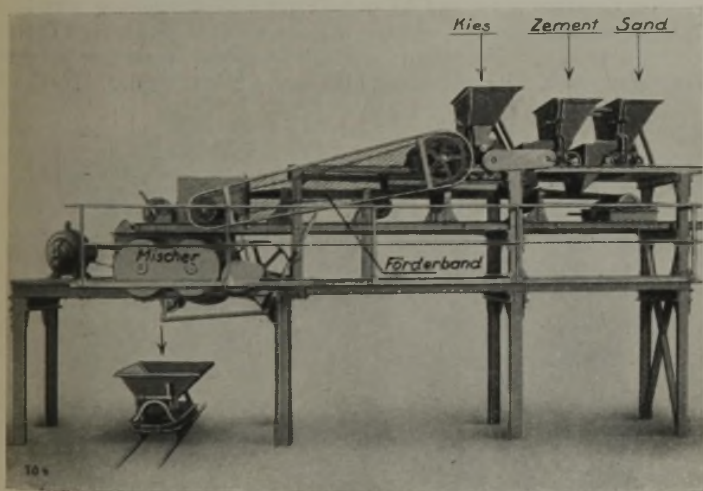
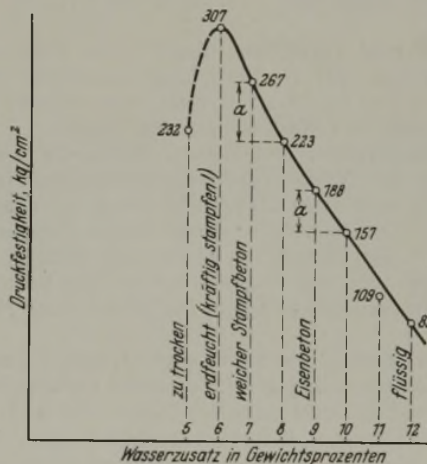


Abb. 13.



$\alpha$  = Erhöhung des Wasserzusatzes um 1 Prozent verminderte die Druckfestigkeit um 31 bis 44  $\text{kg/cm}^2$ !

Abb. 15.

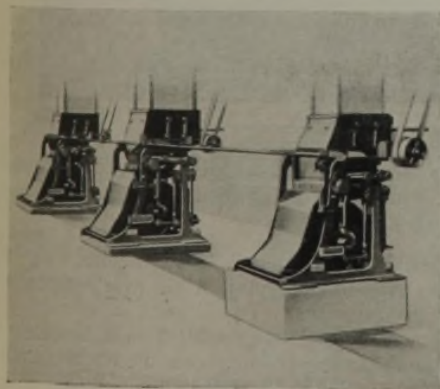


Abb. 14.

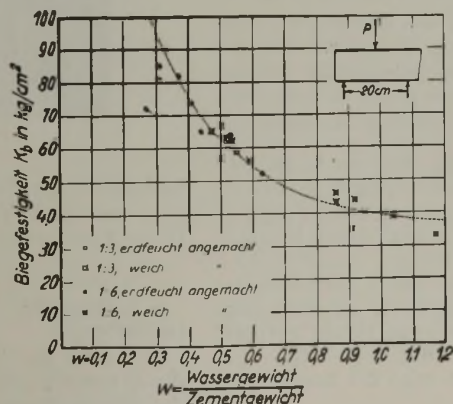


Abb. 16.

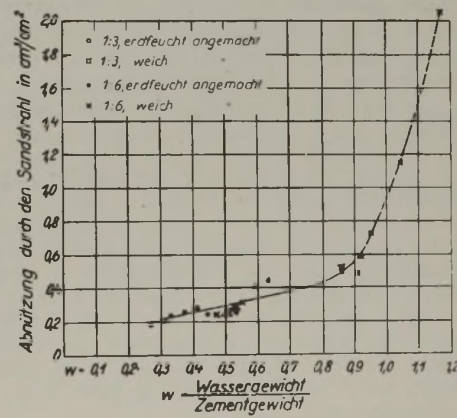


Abb. 17.

mit Meßeinrichtungen geliefert worden, die als unzureichend anzusehen sind.

Welchen Forderungen hat der Wassermesser für Betonmischer zu genügen? Bestimmte Wassermengen sollen mit genügender Genauigkeit, z. B.  $\pm 2\%$ , gemessen werden; das Messen und hierauf das Einführen

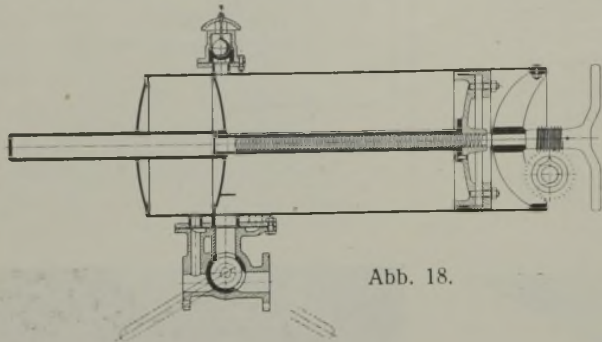


Abb. 18.

des Wassers in die Mischung soll rasch geschehen<sup>5)</sup>; auch soll es möglich sein, bei Beginn einer Mischarbeit den erforderlichen Wasserzusatz durch Probieren festzustellen. Bei den im vorigen Jahre in Siemensstadt ausgeführten Versuchen ist der Wassermesser von Voglsamer benutzt worden

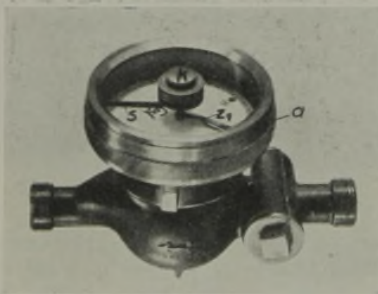


Abb. 19a.

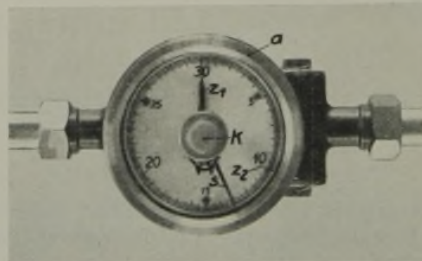


Abb. 19b.

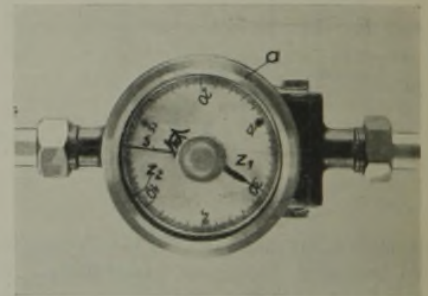


Abb. 19c.

(Abb. 18). Der Zylinder hat einen beweglichen Boden (Abb. 18 rechts); bei der Verschiebung des Bodens wird durch ein Schneckengetriebe der rechts ersichtliche Zeiger über eine Skala bewegt, die den Inhalt des Behälters angibt.

Der Apparat mißt zuverlässig; durch große Falleitungen kann er rasch entleert werden. Bei der Herstellung von Probemischungen ist die Ermittlung des verbrauchten Wassers nicht ohne weiteres möglich.

Rascheste Zufuhr des Wassers nach dem Einfüllen der Mischung ermöglichen Durchflußmesser, also Messer, die in die Wasserleitung eingebaut sind und das Wasser mit Wasserleitungsdruck in die Mischung spritzen. Abb. 19 zeigt einen solchen Messer für Zulaufmengen bis 30 l; er ist von der Firma Andrae in Stuttgart nach Angaben der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart gebaut<sup>6)</sup>. Mit derartigen Messern kann die Wassermenge beliebig begrenzt, also auch ohne weiteres für neue Mischungen die erforderliche Menge ermittelt werden.

Wenn in einer Zementwarenfabrik oder auf einer Baustelle fortlaufend Beton gleicher Konsistenz und gleichbleibenden Verhältnisses des Wassergewichts zum Zementgewicht entstehen soll, muß außer zuverlässiger Messung des Mischwassers auch dafür gesorgt werden, daß Sand, Kies und Schotter mit gleichem Feuchtigkeitsgehalt zur Verarbeitung kommen. Ist die Mischarbeit mit trockenem Material begonnen, später mit feuchtem Material fortgesetzt worden, so entsteht Beton mit verschiedenem Wassergehalt, also verschiedener Konsistenz. Der höhere Wassergehalt gibt Beton geringerer Festigkeit, was zu vermeiden ist. Führende Zementwarenfabriken lagern deshalb das Gesteinmaterial so ein, daß der Feuchtigkeitsgehalt des Sands usw. nur wenig veränderlich ist. Auch Sonder-einrichtungen zur Herstellung bestimmten Feuchtigkeitsgehalts werden angeboten. In solchen Werken werden vorzugsweise offene Mischer verwendet, u. a. um etwaigen Mängeln schon während des Mischens be-

<sup>5)</sup> Über die Bedeutung der Art der Zugabe des Wassers ist auf der Hauptversammlung des Deutschen Betonvereins 1929 berichtet worden.

<sup>6)</sup> Das Bild 19b links unten zeigt die Anfangsstellung. Der Zeiger  $z_1$  steht auf 0. Der Zeiger  $z_2$  (mit Stab  $s$  verbunden und durch Knopf  $k$  einstellbar) zeigt auf 10, entsprechend dem Vorhaben, nunmehr 10 l Wasser zu messen. Der Absperrhahn der Leitung, neben dem Wassermesser eingebaut, wird geöffnet; der Zeiger  $z_1$  wandert, bis beim Eintreffen auf Teilstrich 10 der Zulauf durch Schließen des Hahns gesperrt wird. Für die nächste Mischung wird die Skala mit dem Ring  $a$  gedreht, bis  $z_1$  wieder auf 0 steht (Abb. 19c). Dann kann ein neues Spiel beginnen.

gegnet zu können. Ist für gleichartiges Material mit geringen Schwankungen des Feuchtigkeitsgehalts gesorgt, so kommt bei der Bemessung des Mischwassers die Ahlersche Zementwaage in Betracht; sie bedarf aber wohl noch einer Anpassung an die deutschen Bedürfnisse<sup>7)</sup>.

Die Bedeutung des Einflusses des Wasserzusatzes auf die Festigkeitseigenschaften wird nicht selten unterschätzt. An dieser Sachlage ist u. a. der Umstand beteiligt, daß der Beton auf den Baustellen aus wirtschaftlichen Gründen unter möglicher Vermeidung von Handarbeit transportiert werden muß, zurzeit vorwiegend mit sogenannten Gießtürmen durch Rinnen. Hierzu gehört in der Regel Beton, der zähflüssig erscheint, aber häufig dünnflüssig angemacht wird. In diesem Sinne ist die Verwendung des Förderbands (Abb. 20<sup>8)</sup> ein Fortschritt, weil mit diesem Gerät Beton mit zu hohem Wasserzusatz auf Steigungen nicht hinreichend mitgenommen wird.

Die vorstehenden Darlegungen sollen zeigen, wie das Messen der Bestandteile des Betons zu bewerkstelligen ist, wenn Beton bestimmter Festigkeit fortlaufend mit mäßigen Abweichungen vom Sollwert erzeugt werden soll<sup>9)</sup>.

Manchem werden die von mir erörterten Bedingungen zu weitgehend erscheinen. Demgegenüber ist hervorzuheben, daß das Gesagte schon seit langer Zeit von mir in Übereinstimmung mit führenden Ingenieuren der Industrie vertreten wird. Zurzeit ist festzustellen, daß es Zementwarenfabriken gibt, die den erörterten Erfordernissen schon weitgehend

Rechnung tragen. Die Übertragung auf die Baustelle ist im Gange; bei Ausführung großer Bauwerke sind wiederholt Einrichtungen getroffen worden, die denen in neuzeitlichen Zementwarenfabriken wenig nachstehen.

Im Eisenbetonbau und in der Zementwarenherstellung wird in der Zukunft mehr als bisher, ebenso wie auf anderen technischen Gebieten, mit hochwertigen Baustoffen gearbeitet werden, vor allem auf größte Gleichmäßigkeit der vereinbarten Lieferung geachtet werden. Die Gewähr

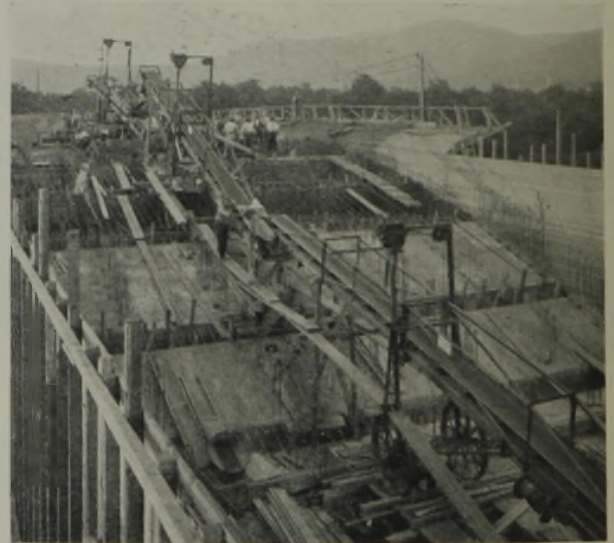


Abb. 20.

leistung für die Zuverlässigkeit, die dabei besonders zu werten sein würde, wird mit dem Vorhandensein von vorbildlichen Einrichtungen für die Herstellung des Betons verknüpft sein.

<sup>7)</sup> Vergl. Brebera, Gewährleistung der Güte des Betons, Prag 1927.

<sup>8)</sup> Baustelle der Firma Wayss & Freytag A.-G. (Neckarbrücke bei Heidelberg).

<sup>9)</sup> Über das Gesagte hinaus ist selbstverständlich auch in bezug auf die Zementteigenschaften, die Erhärtungsbedingungen, die Nachbehandlung des Betons sinngemäß ebenso sorgfältig zu verfahren.

## Versuche mit eingespannten und einfachen Balken von I-Form aus St 37.

Von Professor Dr.-Ing. Maier-Leibnitz, Stuttgart.

Alle Rechte vorbehalten.

Zur weiteren Klärung der Frage der tatsächlichen Tragfähigkeit einfacher und durchlaufender Träger aus Baustahl, wozu in der „Bautechnik“ 1928, Heft 1 u. 2, ein Beitrag erschienen ist, an den sich in Heft 20 eingehende Erörterungen angeknüpft haben, wurden neuerdings Versuche<sup>1)</sup> durchgeführt, die im folgenden beschrieben und erörtert werden sollen.

Eine Übersicht über die Versuche und ihre wichtigsten Ergebnisse zeigt Abb. 1. Aus zwei I-Breitflanschträgern wurden durch Teilung je ein beiderseits eingespannter und ein einfacher Träger gebildet, nämlich die Träger 11, 11a sowie 12 und 12a. Damit volle Einspannung der

	Bezeichnung	F	J	W <sub>min</sub>
Träger 11	I 14 · 14	43,2 cm <sup>2</sup>	1525 cm <sup>4</sup>	214 cm <sup>3</sup>
Träger 12	Burbach I $\frac{152}{127}$	38,6 cm <sup>2</sup>	1533 cm <sup>4</sup>	203 cm <sup>3</sup>

Aus den Enden der Träger wurden je fünf Probestäbe entnommen (Stäbe Nr. 1 bis 4 aus den Flanschen, Stab Nr. 5 aus dem Steg) und mit diesen Zugversuche entnommen mit folgendem Ergebnis:

	Stab	Nr. 1	2	3	4	5	Be- merkung
Träger 11	Streckgrenze	2430	2440	2470	2410	2430 kg/cm <sup>2</sup>	Untere Streckgrenze nicht feststellbar
	Zugfestigkeit	3560	3600	3540	3580	3520 kg/cm <sup>2</sup>	
Träger 12	obere Streckgrenze	2560	2500	2590	2510	2890 kg/cm <sup>2</sup>	
	untere Streckgrenze	2440	2500	2530	2510	2850 kg/cm <sup>2</sup>	
	Zugfestigkeit	3780	3910	3950	3910	4060 kg/cm <sup>2</sup>	

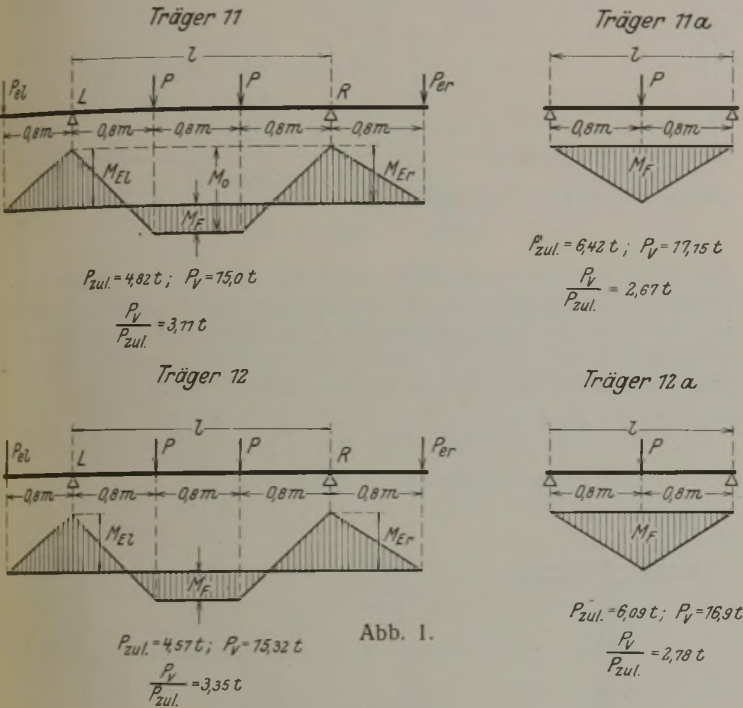


Abb. 1.

Träger 11 und 12 unter allen Laststufen gewährleistet war, wurde ähnlich verfahren, wie in Heft 45 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (Berlin 1920, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn) in dem Bericht über Versuche mit eingespannten Eisenbetonbalken geschildert ist. Es wurden die in Abb. 1 angedeuteten meßbaren Kräfte  $P_e$  so zur Wirkung gebracht, daß jeweils unter den einzelnen Laststufen die Querschnitte bei L und R senkrecht standen, d. h. daß im rein elastischen Bereich die Biegelinie dort je eine wagerechte Tangente aufwies. In Abb. 1 sind gegenübergestellt: a) die Werte  $P_{zul}$  bestimmt unter der Annahme, daß entsprechend den heute geltenden Berechnungsvorschriften bei der auf Grund der Geltung des Hookeschen Gesetzes berechneten Momentenverteilung die zulässige Beanspruchung von 1,2 t/cm<sup>2</sup> nirgends überschritten wird; b) die Werte  $P_v$ , bei denen die einzelnen Träger tatsächlich versagt haben. Man sieht schon aus dem Vergleich der Werte  $P_v$  und  $P_{zul}$  bei den einzelnen Trägern, daß bei der üblichen Berechnungsweise der tatsächlichen Tragfähigkeit der eingespannten Träger nicht genügend Rechnung getragen ist.

Die maßgebenden, auf Grund der tatsächlichen Trägerabmessungen ermittelten statischen Querschnittswerte sind:

<sup>1)</sup> Die Versuche ließ der Verfasser mit finanzieller Unterstützung des Ausschusses für Versuche im Eisenbau durch die Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule durchführen (Leiter der Abteilung für Bauwesen: Prof. O. Graf; mit der Untersuchung betraut die Ingenieure Brenner und Munzinger). Die Träger 11 und 12 wurden von den Firmen Wälde, Kade und Erath in Steinbach bei Hall und von der Burbacher Hütte kostenlos zur Verfügung gestellt.

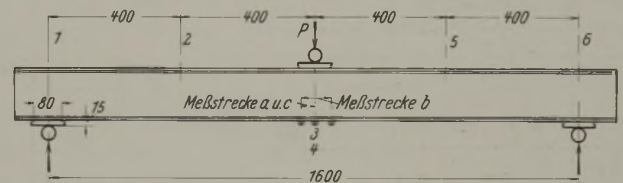
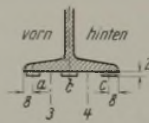


Abb. 3.



Die Spannungsdehnungsdiagramme in der Nähe der Streckgrenze für die Stäbe Nr. 1 und Nr. 4 des Trägers 11 zeigt Abb. 2. Für die Trägerflansche des Trägers 11 ergibt sich aus der Zusammenstellung (fettgedruckte Werte) als mittlere Streckgrenze:  $\sigma_s = 2,437$  t/cm<sup>2</sup>, und für Träger 12:  $\sigma_s = 2,495$  t/cm<sup>2</sup>.

### I. Die Versuche mit den einfachen Trägern 11a und 12a.

Die Anordnung der Belastung, der Meßstellen 1 bis 6, an denen die Durchbiegungen, und der Meßstrecken a, b und c, an denen die Verlängerungen gemessen wurden, geht aus Abb. 3 hervor. Die Schneiden des Instruments b ruhten auf 2 mm dicken Plättchen, die auf der unteren Flanschfläche aufgeklebt waren. Die Schneiden der Instrumente a und c saßen unmittelbar auf der Fläche des Flansches. Die Belastung geschah in Stufen, je mit Entlastung wechselnd. Nachdem die Belastung bzw. die Entlastung je rd. 2 min gewirkt hatten, folgte die Ablesung an den Dehnungsmessern und an den zur Ermittlung der Dehnungen dienenden Meßstäben. Abb. 4 zeigt die gesamten und bleibenden Durchbiegungen in Balkenmitte des Trägers 11a, Abb. 5 diejenigen des Trägers 12a.

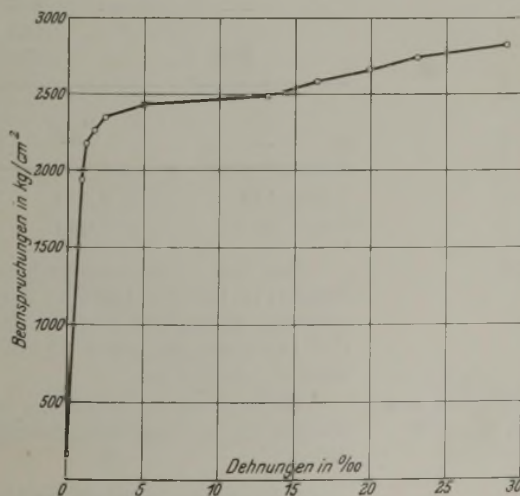


Abb. 2a. Stab 1 aus Träger 11.

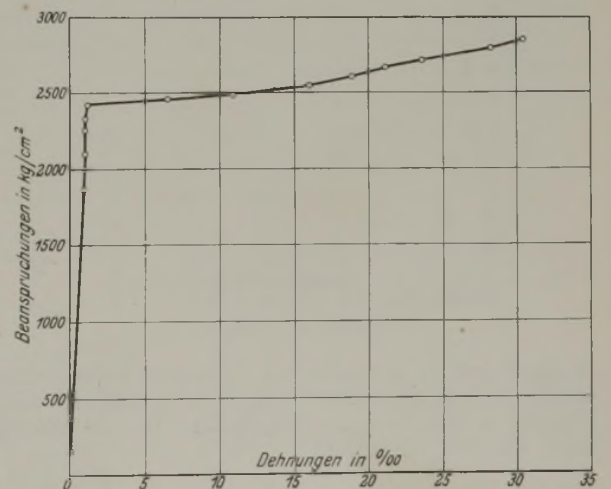


Abb. 2b. Stab 4 aus Träger 11.

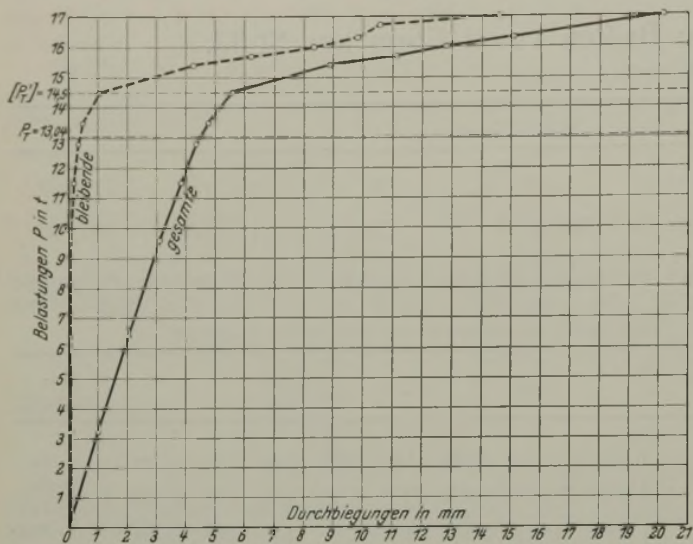


Abb. 4. Träger 11a.  
Mittel der Durchbiegungen des mittleren Trägerpunktes 3, 4.

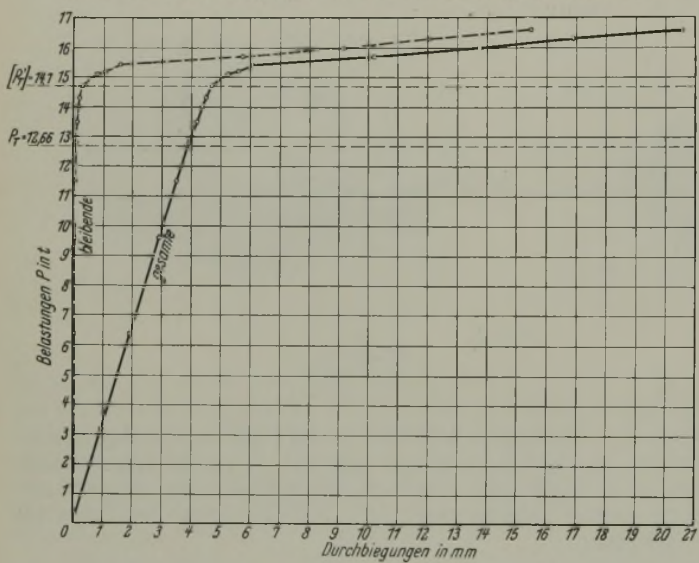


Abb. 5. Träger 12a.  
Mittel der Durchbiegungen des mittleren Trägerpunktes 3, 4.

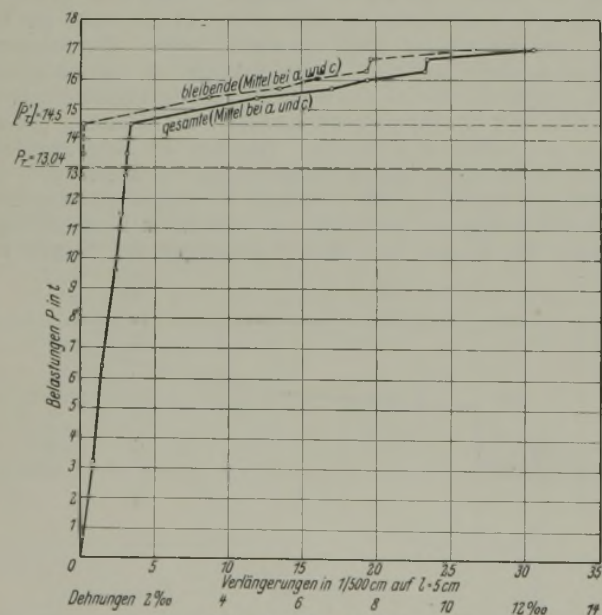


Abb. 6. Träger 11a.

In Abb. 6 sind die gesamten und bleibenden Verlängerungen (in 1/500 cm bezogen auf die Meßstrecke 5 cm) in Balkenmitte für den Träger 11a übertragen, in Abb. 7 die des Trägers 12a. Die obenerwähnten Werte  $P_{zul}$  findet man rein statisch aus

$$(1) \quad \frac{P_{zul} l}{4} = W \sigma_{zul} \quad \text{zu} \quad P_{zul} = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot W}{160}$$

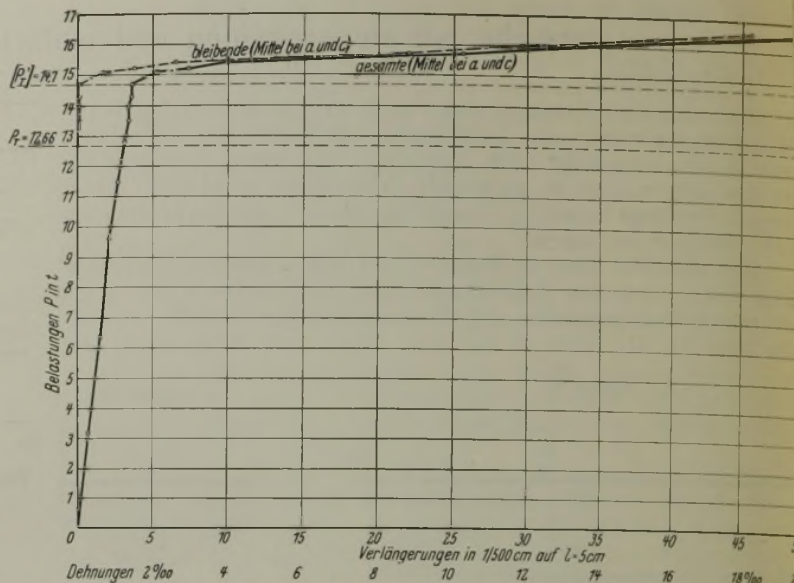


Abb. 7. Träger 12a.

Bezeichnet man mit  $P_T$  den Wert von  $P$ , bei dem in der äußersten Querschnittsfaser an der Stelle des Maximalmoments die Streckgrenze erreicht ist, wobei bei weiter anwachsendem  $P$  die bleibenden Dehnungen ungenügend wachsen, d. h. bezeichnet man mit  $P_T$  die praktisch ausnutzbare Tragfähigkeit des Balkens, so erhält man  $P_T$  aus:

$$(2) \quad \frac{P_T l}{4} = W \sigma_s [= M_s] \quad \text{zu} \quad P_T = \frac{4 \sigma_s W}{160}$$

wobei  $\sigma_s$  die Beanspruchung an der Streckgrenze ist.

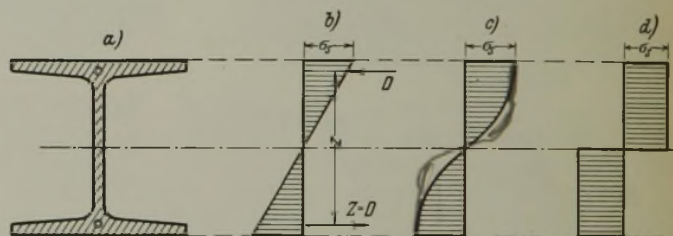


Abb. 8.

Für die Berechnung von  $P_T$  wurde also das in Abb. 8b gezeichnete Spannungsdiagramm zugrunde gelegt, wobei also  $M_s = D \cdot z$  ist. Wie auch Grüning in der „Bautechnik“ 1928, S. 274, erwähnt hat, nimmt bei Anwachsen von  $P$  über  $P_T$  hinaus das Spannungsdiagramm die Gestalt der Abb. 8c an und mit dem von Kist<sup>2)</sup> für die Untersuchung von Tragwerken empfohlenen vereinfachten Spannungsdiagramm nach Abb. 9 könnte man

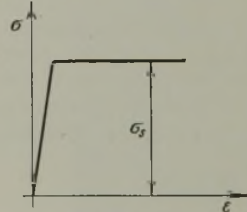


Abb. 9.

mit Kist daran denken, für ein erhöhtes  $M_s$  und  $P_T'$  das Diagramm der Abb. 8d zugrunde zu legen. Einen Fingerzeig für die Größe von  $P_T'$  geben übrigens unsere Abb. 4 bis 7. Man kann daraus die erhöhten Tragfähigkeiten  $[P_T']$  entnehmen, bei deren Überschreitung die Durchbiegungen und Verlängerungen in Trägermitte beträchtlich wachsen. Aus (1), (2), aus Abb. 4 bis 7 und auf Grund der Versuche erhält man für

	$P_{zul}$	$P_T$	$[P_T']$	$P_v$	$\frac{P_v}{P_{zul}}$
Träger 11a . . . . .	6,42 t	13,04 t	etwa 14,5 t	17,15 t	2,67
Träger 12a . . . . .	6,09 t	12,66 t	etwa 14,7 t	16,90 t	2,78

Aus der Versuchsbeobachtung ist bemerkenswert, daß bei dem Träger 11a bei  $P=12,8$  t in der Mitte unten am Druckflansch Zunderstückchen absprangen und bei dem Träger 12a an derselben Stelle unter  $P=14,3$  t sich die ersten Strecklinien zeigten. Beide Träger bogen sich unter  $P_v$  seitlich aus.

Weitere zwei Versuche mit je einfachen Balken INP16, im übrigen mit den gleichen Abmessungen wie die Träger 11a und 12a, ergaben

<sup>2)</sup> Kist, Die Zähigkeit des Materials als Grundlage für die Berechnung von Brücken usw. aus Flußeisen, Der Eisenbau 1920, Nr. 23.

für die Querschnittsgrößen:  $F = 22 \text{ cm}^2$ ;  $J = 962 \text{ cm}^4$ ;  $W = 118 \text{ cm}^3$   
 für die mittlere Streckgrenze:  $\sigma_s = 2,58 \text{ t/cm}^2$  und weiter:

$$P_{zul} = 3,54 \text{ t}; P_T = 7,61 \text{ t}; P_v = 8,8 \text{ t und } 9,25 \text{ t und damit } \frac{P_v}{P_{zul}} = 2,48$$

bezw. 2,62 (gegenüber 2,67 und 2,78 bei den Trägern 11a und 12a). Aus den Beobachtungen ist bemerkenswert, daß bei beiden Trägern die ersten Strecklinien unter  $P = 7,5 \text{ t}$  sichtbar wurden. Beide Träger bogen sich nach Erreichen der Höchstlasten seitlich aus, wodurch jeweils eine weitere Laststeigerung unmöglich wurde. Für den Träger mit  $P_v = 8,8 \text{ t}$  sind in Abb. 10 die Durchbiegungen, in Abb. 11 die Verlängerungen (Dehnungen) je in Balkenmitte dargestellt. Daraus kann man ein  $[P_T] = \text{rd. } 8,3 \text{ t}$  ablesen.

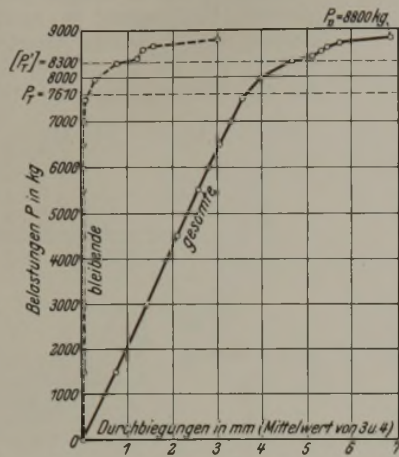


Abb. 10. INP 16.

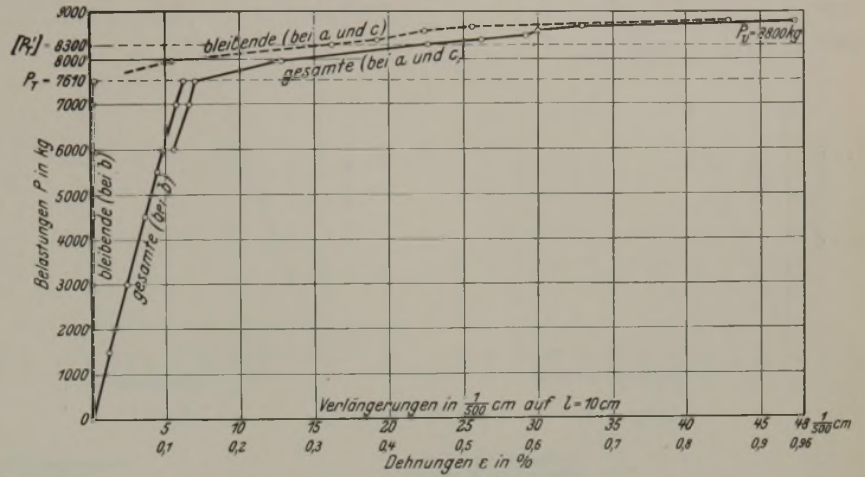


Abb. 11. INP 16.

II. Die Versuche mit den eingespannten Trägern 11 und 12.  
 Die Anordnung der Belastungen, die Meßstellen für die Durchbiegungen und für die Verlängerungen an den oberen und unteren Balkenflächen gehen aus Abb. 12 u. 13 hervor. Für die Versuche wurde die in der „Bautechnik“ 1928, S. 12, erwähnte, in dem obenerwähnten Heft 45 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton und auch in Abb. 25 dar-

auf die oberen Punkte 2 und 8 über den Auflagern  $L$  und  $R$ . Abb. 15 zeigt die entsprechenden Werte des Trägers 12. In Abb. 16 sind für den Träger 11, in Abb. 17 für den Träger 12 die gesamten und bleibenden Durchbiegungen der Punkte 1 und 9 (Mittelwerte) aufgetragen. Die Werte aller dieser bleibenden Durchbiegungen beziehen sich auf den von  $P$ ,  $P_{el}$  und  $P_{er}$  entlasteten Träger.

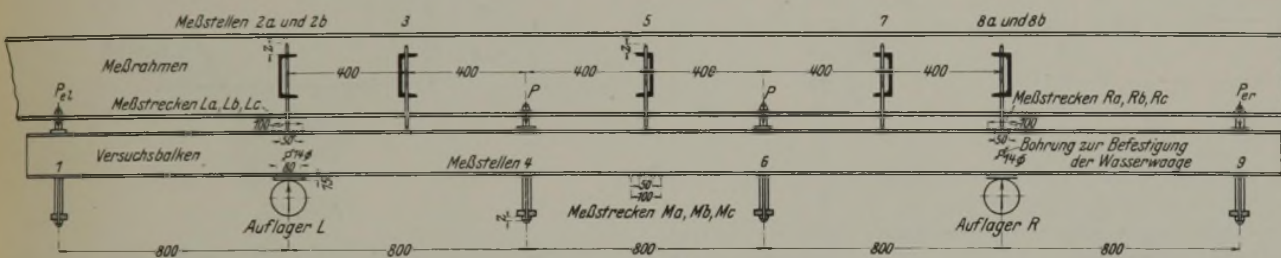


Abb. 12.

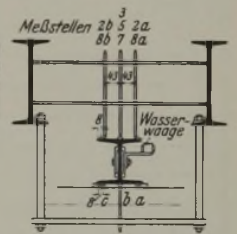


Abb. 13.

gestellte Prüfmaschine verwendet. In der Nähe der Balkenenden griffen die Ergänzungslasten  $P_{el}$  und  $P_{er}$  an. Diese Lasten wurden ebenso wie die beiden Lasten  $P$  durch mit Drucköl betriebene Preßluftkolben, die einzeln gesteuert wurden, erzeugt. Die Größe der Lasten  $P_{el}$  und  $P_{er}$  wurde so gewählt, daß die Auflagerquerschnitte über  $L$  und  $R$  des Trägers ihre ursprüngliche senkrechte Richtung nicht änderten. Zu diesem Zweck

in der Zugzone der Balkenmitte und über den Auflagern  $L$  und  $R$  wurden die Verlängerungen der äußersten gezogenen Schicht der Trägerflanschen bestimmt. Die Meßstrecken  $Lb$ ,  $Mb$  und  $Rb$  ( $l = 100 \text{ mm}$ ) lagen in der Mitte der Flanschenbreite. Die Messung der Verlängerungen erfolgte durch Instrumente mit einer Ablesegenauigkeit von rd.  $1/5000 \text{ mm}$ .

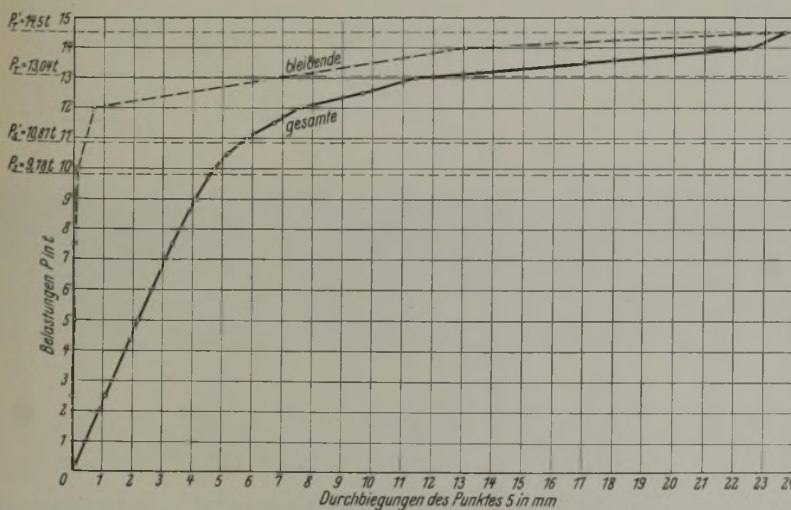


Abb. 14. Träger 11.

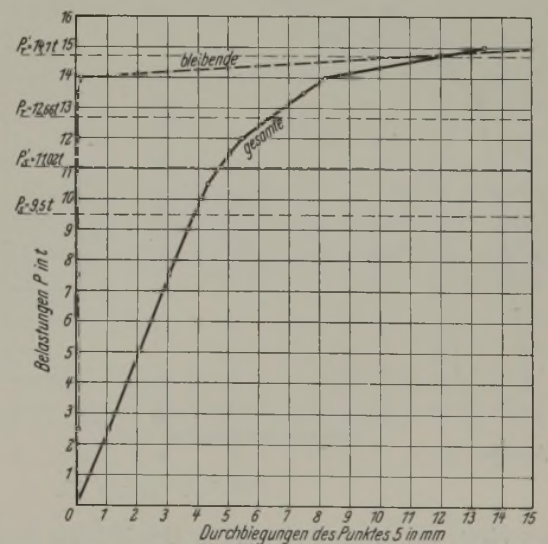
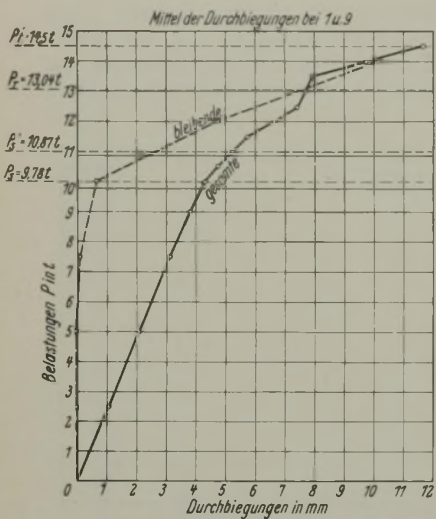


Abb. 15. Träger 12.

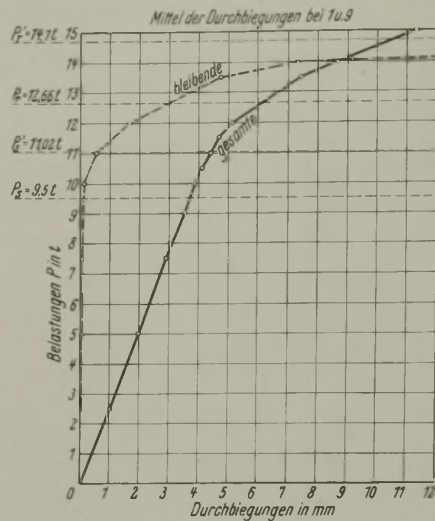
waren über den Auflagern  $L$  und  $R$  an dem Steg des Trägers in der aus Abb. 13 ersichtlichen Weise empfindliche Wasserwaagen befestigt. Die Belastung geschah ähnlich wie bei den Trägern 11a und 12a in Stufen, teilweise mit Entlastung wechselnd.

Die Meßstrecken  $La$ ,  $Lc$ ,  $Ma$ ,  $Mc$ ,  $Ra$  und  $Rc$  ( $l = 50 \text{ mm}$ ) waren in der Nähe der Flanschenränder angeordnet (Ablesegenauigkeit:  $1/250 \text{ mm}$ ). Bei den Meßstrecken  $a$  und  $c$  ruhten die Instrumente unmittelbar auf der Flanschfläche; an den Enden der mit  $b$  bezeichneten Strecken waren  $2 \text{ mm}$  hohe Stahlplättchen angeklebt, auf denen die Meßinstrumente ruhten. Die entsprechenden Werte für die Mittel aus  $La$ ,  $Lc$ ,  $Ra$  und  $Rc$ , sowie

Die Bewegungen der zur Bestimmung der Durchbiegungen angeordneten Meßstifte in senkrechter Richtung gegen einen über dem Versuchskörper



Träger 11.



Träger 12.

Abb. 16 u. 17.

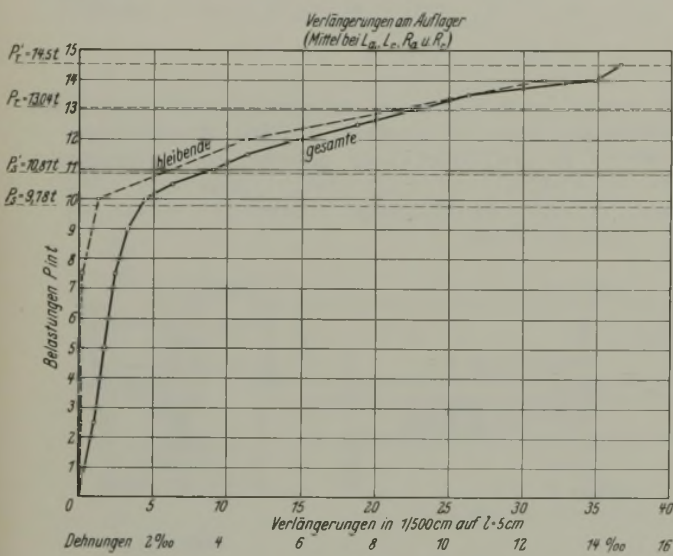


Abb. 18. Träger 11.

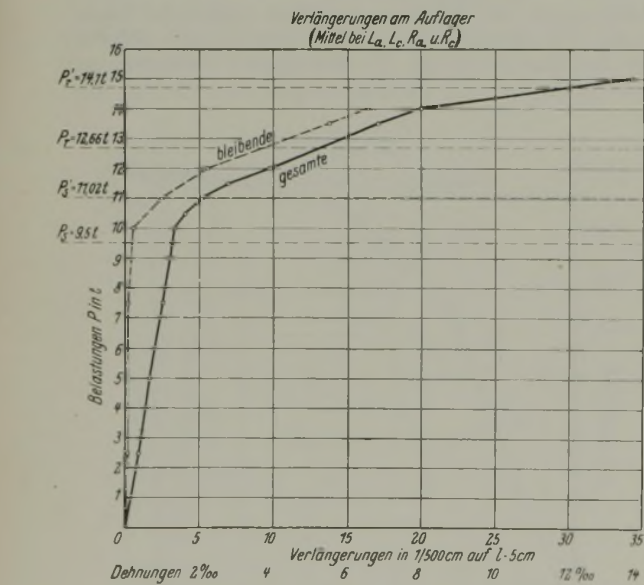
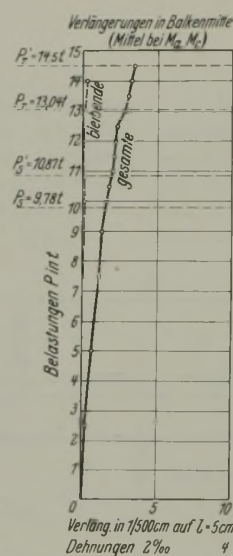
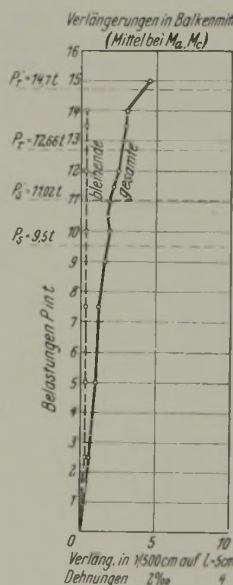


Abb. 19. Träger 12.



Die Mittelwerte  $M_E = \frac{1}{2}(M_{E1} + M_{E2})$ , sowie die Feldmomente  $M_F$ , also die tatsächlich durch die Versuche und auf Grund von (4) ermittelte Werte, sind in Abb. 20 u. 21 für die Träger 11 und 12 aufgetragen (stark ausgezogener Linienzug). Bei derartigen eingespannten Trägern mit zwei gleichen Einzellasten in den Drittelpunkten ergibt sich, solange das Hookesche Gesetz gilt, bekanntlich eine Momentenlinie, wie sie in Abb. 22a dargestellt ist. Dabei ist mit den Bezeichnungen der Abbildung:

$$(5) \quad M_o = \frac{Pl}{3}; \quad M_E = \frac{2Pl}{9}; \quad M_F = \frac{Pl}{9}$$

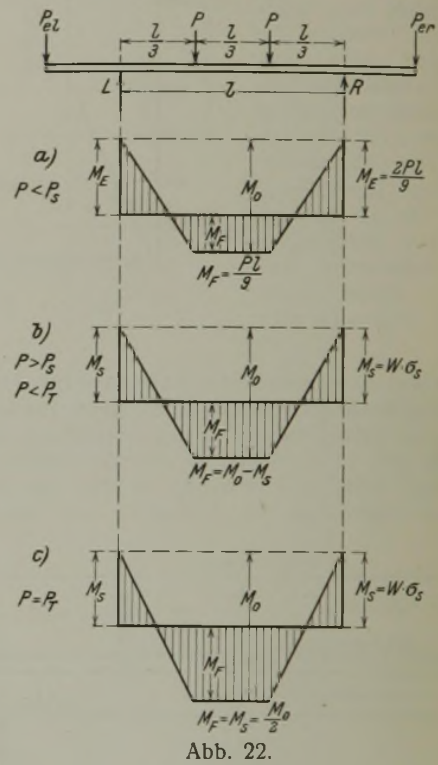


Abb. 22.

Der eingangs erwähnte Wert  $P_{zul}$  ergibt sich nach der üblichen Theorie aus der Bedingung, daß die größte Beanspruchung an der Einspannstelle den Wert  $\sigma_{zul}$ , z. B.  $= 1,2 \text{ t/cm}^2$ , nicht überschreitet, aus

$$\sigma = \frac{M_E}{W} = \sigma_{zul} \text{ zu:}$$

$$(6) \quad P_{zul} = \frac{9W \cdot \sigma_{zul}}{2l} = \frac{9W \cdot \sigma_{zul}}{2 \cdot 240}$$

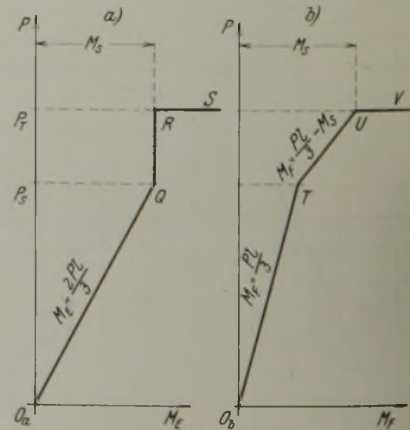


Abb. 23.

für die Mittel aus  $M_a$  und  $M_c$  sind in Abb. 18 bzw. 19 für die Träger 11 bzw. 12 aufgetragen.

Die obenerwähnten Lasten  $P_{el}$  und  $P_{er}$  wurden (in t) für die verschiedenen Laststufen versuchs-technisch bestimmt. Die in Abb. 1 dargestellten Einspannmomente  $M_{E1}$  und  $M_{E2}$  sind

$$(3) \quad \text{in tcm} = 80 P_{el} \text{ bzw. } 80 P_{er}$$

Die Feldmomente  $M_F$  (s. Abb. 1) in Balkenmitte ergeben sich zu:

$$(4) \quad M_F = 80 P - \frac{1}{2}(M_{E1} + M_{E2})$$

Erreicht bei wachsendem  $P$  die Beanspruchung an der Einspannstelle die Proportionalitätsgrenze bzw. etwas weniger genau die Streckgrenze — ein Belastungsstadium, dem ein Wert  $P_S$  entsprechen möge —, so gilt für Werte von  $P > P_S$  die Momentenverteilung der Abb. 22a nicht mehr. Die Momente  $M_E$  können nicht mehr wesentlich über den der Belastung  $P_S$  entsprechenden Wert  $M_S = W \cdot \sigma_s$  anwachsen. Es gilt für  $P > P_S$  (Abb. 22b)

$$(7) \quad M_E = M_S; \quad M_F = M_o - M_S = M_o - W \cdot \sigma_s$$

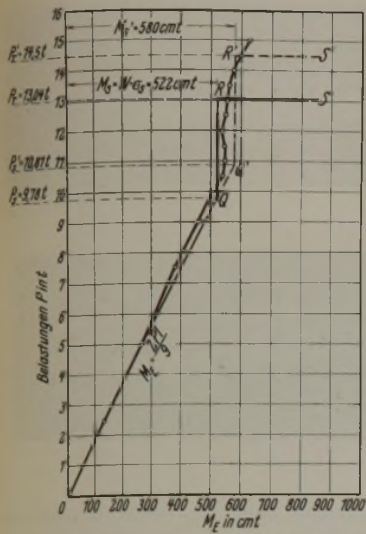


Abb. 20. Träger 11.

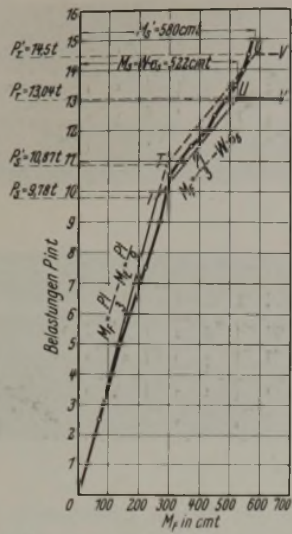


Abb. 21. Träger 12.

für  $P_S$ :

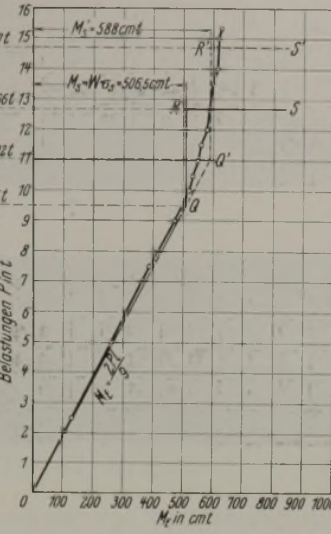
$$(8) \quad P_S = \frac{9 W \cdot \sigma_s}{2 l} = \frac{9 W \cdot \sigma_s}{2 \cdot 240}$$

Bei diesem Stadium tritt in den äußeren Fasern des Einspannquerschnitts eine bleibende Dehnung und damit eine Änderung des Winkels der Einspanntangente ein, die aber aus rein geometrischen Gründen bei Anwachsen der Lasten gehemmt ist. Diese Dehnungen wachsen erst ungehemmt weiter, wenn die Last  $P$  den Wert  $P_T$ , d. h. die oben bei Besprechung der Versuche mit den einfachen Trägern 11a und 12a definierte tatsächliche Tragfähigkeit überschreitet. Im Falle  $P = P_T$  (Abb. 22c) ist auch  $M_F = M_S$ . Sowohl an der Einspannstelle als auch an der Stelle des größten Feldmoments können die Fasern sich ungehemmt bei weiterem Anwachsen der Lasten  $P$  dehnen, d. h. die praktisch verwertbare Tragfähigkeit des Trägers ist durch  $P_T$  ausgedrückt. Man findet für  $P_T$

$$(9) \quad \text{aus: } M_F = \frac{P_T l}{3} - W \cdot \sigma_s = W \cdot \sigma_s$$

$$P_T = \frac{6 W \cdot \sigma_s}{l} = \frac{6 W \cdot \sigma_s}{240}$$

Die vorstehenden geschilderten Verhältnisse können unter der vereinfachten Annahme, daß  $M_E$  für  $P > P_S$  konstant bleibt, durch Abb. 23a u. b veranschaulicht werden, in der die Einspannmomente und Feldmomente (Abszissen) unter den verschiedenen Laststufen aufgetragen sind. Dabei ist das vereinfachte Spannungsdehnungsdiagramm der Abb. 9 zugrunde gelegt, nach dem keine größeren Momente eintreten können als  $M_S$ , das nach früherem nicht viel größer sein kann als  $W \cdot \sigma_s$ .



Man sieht, bei  $P < P_S$  wachsen die  $M_E$  und  $M_F$  linear; bei  $P_S < P < P_T$  ist  $M_E = M_S$ , die  $M_F$  wachsen rascher, aber noch linear. Größere Lasten als  $P_T$  kann der Träger nicht aufnehmen, weil  $\frac{P_T l}{6} = M_S$  ist, dem größten Moment, das der Trägerquerschnitt aufnehmen kann.

Ganz ähnlich wie die den Versuchen mit den einfachen Trägern entsprechenden  $P_T$  [nach (2)] infolge des unregelmäßigen Verlaufs der Spannungsdehnungslinie keine mathematisch genau bestimmten Größen sind, ist es auch hier bei den  $P_S, P_T$ . Aus dem dort bestimmten  $[P_T]$  kann man schließen, daß erst von einem

$$(10) \quad M_S' = \frac{[P_T] \cdot 160}{4} \text{ und einem } P_S' = \frac{9 M_S'}{2 \cdot 240}$$

an wesentliche Dehnungen im Auflagerquerschnitt eintreten. Es ergibt sich dann ein der Abb. 23 entsprechender, in Abb. 20 u. 21 ebenfalls eingetragener ebenfalls vereinfachter Momentenverlauf nach den Linienzügen  $O_a Q' R' S'$  und  $O_b T' U' V'$ , die eine befriedigende Deckung mit dem aus den Versuchen gewonnenen Momentenverlauf ergeben. Das dabei auftretende  $P_T'$ , bei dem  $M_E = M_F$  ist, ergibt sich nach (9) zu:

$$(11) \quad P_T' = \frac{6 M_S'}{l} = \frac{6 M_S'}{240}$$

Aus den vorstehenden allgemeinen Beziehungen und auf Grund der Versuche erhält man für

	$P_{zul}$	$P_S$	$P_T$	$M_S'$	$P_S'$	$P_T'$	$P_v$	$\frac{P_v}{P_{zul}}$
Träger 11 . .	4,82 t	9,78 t	13,04 t	14,5 · 40 = 580 tcm	10,87 t	14,5	15,0 t	3,11
Träger 12 . .	4,57 t	9,50 t	12,66 t	14,7 · 40 = 588 tcm	11,02 t	14,7	15,32 t	3,35

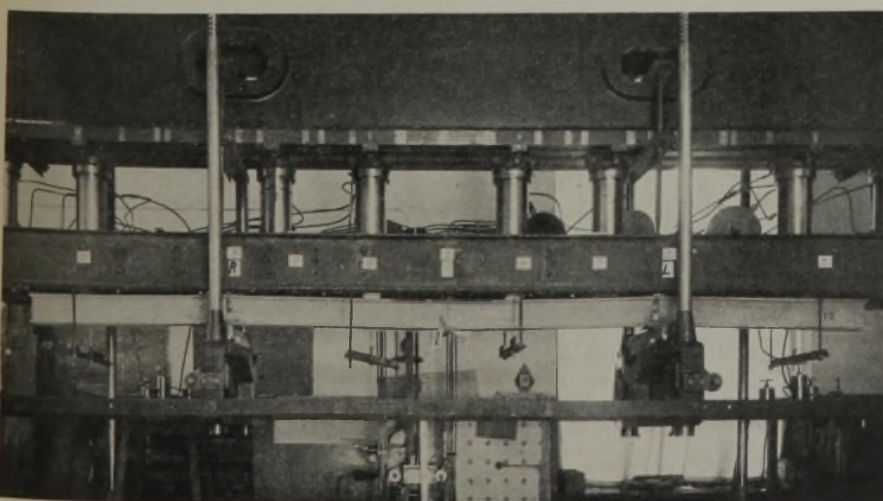


Abb. 25. Träger 12 in der Versuchsmaschine.

Das der tatsächlichen Tragfähigkeit des eingespannten Trägers entsprechende  $[P_{zul}]$  ergibt sich auf Grund einer Momentenverteilung, die grundsätzlich derjenigen der Abb. 22c entspricht, wo  $M_F = \frac{1}{2} M_0$  ist, aus  $\frac{P l}{6} = W \cdot \sigma_{zul}$ :

$$(12) \quad \text{richtiges } [P_{zul}] = \frac{6 W \cdot \sigma_{zul}}{l} = \frac{W \cdot \sigma_{zul}}{40}$$

Man hätte es natürlich auch ausdrücken können zu:

$$\frac{\sigma_{zul}}{\sigma_s} \cdot P_T$$

Man erhält somit für:

$$\text{Träger 11 } [P_{zul}] = \frac{214 \cdot 1,2}{40} = 6,42 \text{ t; } \frac{P_v}{[P_{zul}]} = \text{rd. } 2,3,$$

$$\text{Träger 12 } [P_{zul}] = \frac{203 \cdot 1,2}{40} = 6,09 \text{ t; } \frac{P_v}{[P_{zul}]} = \text{rd. } 2,5.$$

Aus den Versuchsbeobachtungen ist erwähnenswert:

Träger 11. Unter  $P = 12 \text{ t}$  wurden kleine lose Zunderstückchen über einem Auflager an der Rundung zwischen Druckflansch und Steg festgestellt. Bei

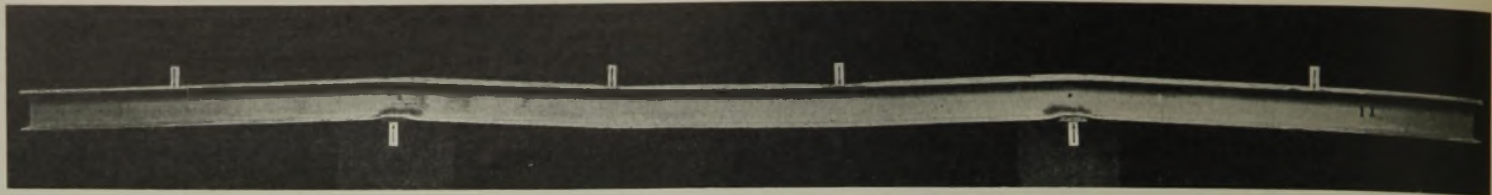


Abb. 24. Träger 11 nach dem Versuch.

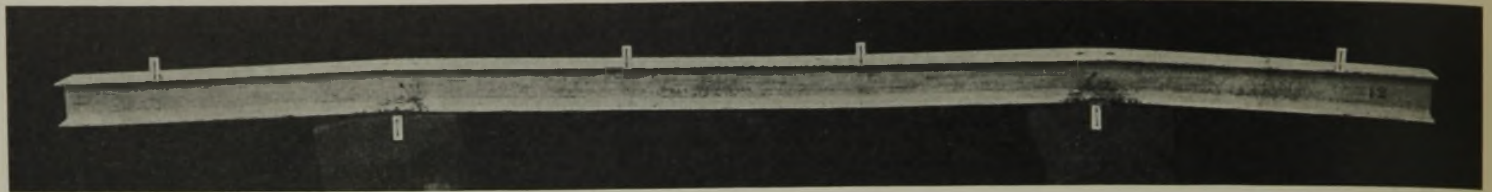


Abb. 26. Träger 12 nach dem Versuch.

$P_v = 15$  t wachsen die Durchbiegungen des Balkens rasch unter starken Verbiegungen der Flanschen an den Stellen  $R, L$  und der Lastangriffspunkte. Abb. 24 zeigt den geprüften Träger.

Träger 12. Unter  $P = 11$  t (also bei  $P_S'$ ) werden die ersten Strecklinien an der Unterfläche des Zugflansches in der Nähe eines Auflagers beobachtet. Unter  $P = 14$  t (also nahe an  $P_T'$ ) erscheinen die ersten Strecklinien unter einem Lastangriffspunkt, und zwar an der unteren Fläche des Zugflansches. Bei  $P_v = 15,32$  t wachsen die Durchbiegungen an einem Ende auch in seitlicher Richtung rasch. Abb. 25 zeigt den Träger in der Maschine, Abb. 26 den geprüften Träger.

III. Zusammenfassung.

Durch die vorliegende und die in der „Bautechnik“ 1928, Heft 1 und 2 enthaltene Abhandlung ist für praktische Zwecke die Frage der tatsächlichen Tragfähigkeit einfacher und durchlaufender Balken von auf ihre ganze Länge gleichem Querschnitt für den Fall gleich großer Einzelasten  $P$  und damit auch für eine auf die ganze Trägerlänge gleichmäßig verteilte Belastung  $q$  geklärt.

1. Für einfache Balken ergibt sich die Tragfähigkeit  $P_T$ , bei deren Überschreitung unzulässige bleibende Formänderungen entstehen, aus der Bedingung, daß das unter den  $P_T$  entstehende größte Moment nicht größer als  $W \cdot \sigma_s$  werden darf. Die Sicherheit gegen Eintreten solcher unzulässiger bleibender Formänderungen ist  $n = \frac{W \cdot \sigma_s}{M}$ , wobei  $M$  das größte Moment unter den Gebrauchslasten  $P$ , die auch verschieden groß sein können, ist.  $P_{zul} : P_T \text{ ist } = \sigma_{zul} : \sigma_s$ . Die oben eingeführte erhöhte Tragfähigkeit  $P_T'$  diene nur zur Deutung der Versuche mit den statisch unbestimmten Balken.

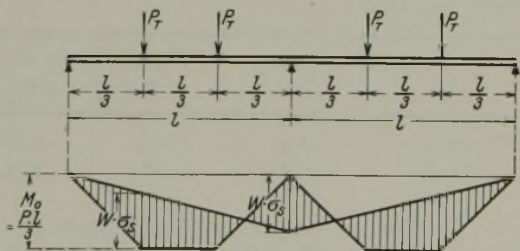


Abb. 27.

2. Für den durchlaufenden Balken mit zwei Öffnungen (Abb. 27) ergibt sich auf Grund einer ähnlichen Überlegung, wie sie an Hand der Abb. 22 angestellt wurde, aus der in der Abb. 27 dargestellten Momentenverteilung, wobei das größte Feldmoment gleich dem nicht wesentlich über  $W \cdot \sigma_s$  anwachsbaren und diesem gleichzusetzenden Stützenmoment wird, also aus:

$$W \cdot \sigma_s = \frac{P_T \cdot l}{3} - \frac{W \cdot \sigma_s}{3} \text{ die Tragfähigkeit zu}$$

$$(13) \quad P_T = \frac{4 W \cdot \sigma_s}{l};$$

und daraus das entsprechende Feldmoment = Stützenmoment zu:

$$(14) \quad W \cdot \sigma_s = \frac{P_T \cdot l}{4}.$$

Für die Querschnittsbemessung ist maßgebend

$$(15) \quad M_F = \frac{P \cdot l}{4},$$

denn bei diesem Feldmoment ist, wenn dabei  $\sigma_{zul}$  nicht überschritten wird, die Sicherheit gegen Eintritt unzulässig großer Formänderungen an der Stelle des Feldmoments und nach der Auswirkung zulässiger begrenzter bleibender Formänderungen über der Stütze auch an dieser ebenso groß wie beim einfachen Balken. Bei unsymmetrischer Belastung führt eine analoge Betrachtung zu der Größe der tatsächlichen Tragfähigkeit  $P_T$  (z. B. bei Belastung nur eines Feldes mit zwei  $P$ ). Dabei kann der oben mit  $P_S$  charakterisierte Zustand dem Moment unter einem Lastangriffspunkte entsprechen.

3. Für den beiderseits eingespannten Balken (zugleich Mittelfeld eines durchlaufenden Balkens auf vielen Stützen gleicher Entfernungen) ergibt sich nach Abb. 22c und nach (9)  $P_T = \frac{6 W \cdot \sigma_s}{l}$  und das dieser Tragfähigkeit entsprechende Feldmoment (= Stützenmoment) zu  $W \cdot \sigma_s = \frac{P_T \cdot l}{6}$ , allgemein bei symmetrischer Belastung zu  $\frac{1}{2} \cdot M_0^T$ . D. h. für die Querschnittsbemessung ist maßgebend:

$$(16) \quad M_F = M_E = \frac{M_0}{2},$$

wobei  $M_0$  das größte Moment bei der betrachteten Belastung darstellt.

Bei gleichmäßig verteilter Belastung von  $q$  f. l f. d. m Balken also:

$$(16') \quad M_F = M_E = \frac{q l^2}{16} \text{ .}^3)$$

Auf Grund einer Betrachtung, ähnlich wie sie für einen beiderseits eingespannten Balken an Hand der Abb. 22 angestellt wurde, läßt sich für die mittleren gleich langen Felder eines durchlaufenden Balkens beliebig vieler Öffnungen leicht nachweisen, daß das für die Querschnittsbemessung der Mittelfelder maßgebende Moment bei gleichmäßig verteilter Belastung  $q$  auf die ganze Trägerlänge zu  $\frac{q l^2}{16}$  anzusetzen ist. Bei durchlaufenden Pfetten z. B. ist es also nicht nötig, Gelenke so einzuschalten, daß die Feldmomente gleich den Stützenmomenten werden. Eine nach  $M = \frac{q l^2}{16}$  bemessene durchlaufende Pfette ohne Gelenke hat dieselbe Tragfähigkeit wie die Gelenkpfette, weist unter den Gebrauchslasten aber kleinere Durchbiegungen auf, ist für mögliche ungleichmäßige Belastungen widerstandsfähiger und bedingt einfachere Werkstatt- und Montierarbeiten. Man beachte, in den vorstehend behandelten Fällen stellt sich diejenige Momentenverteilung ein, die man günstigstenfalls durch die Einschaltung von Gelenken erreichen könnte. Es gilt also der von Kist a. a. O. aufgestellte Grundsatz, daß man nach jeder Kräfteverteilung, die mit dem Gleichgewichte zu vereinbaren ist, die Abmessungen des Bauwerks bestimmen darf.

<sup>3)</sup> Diese Feststellung stimmt grundsätzlich überein mit den dem Verfasser (ebenso wie die Abhandlung Kist) anlässlich der II. internationalen Tagung für Brücken- und Hochbau in Wien 1928 bekanntgewordenen Versuchen des Obergeringens G. v. Kazinczy, veröffentlicht in der ungarischen Zeitschrift Betonszemle 1914. K. sagt dort: „Ein eingespannter Eisenträger kann nur dann eine große bleibende Durchbiegung erleiden, wenn die Streckgrenze an drei verschiedenen Querschnitten erreicht ist. Querschnitte, bei welchen die Streckgrenze erreicht ist, können bei weiterer Belastung als Gelenke mit ständigem Biegemoment betrachtet werden.“

**INHALT:** Flughäfen in Ausgestaltung und Betrieb. — Über die Kraftwirkung zwischen Kraftwagen und Straße. — Wirtschaftliche Linienführung für Kraftverkehrsstraßen. — Zur Berechnung zylindrischer Silozellen aus Eisenbeton. — Schleusen ohne Wasserverbrauch. — Über die Bedeutung des Messers der Bestandteile des Betons. — Versuche mit eingespannten und einfachen Balken von I-Form aus St 37.