



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301647

DIE KÖNIGLICHE VERSUCHSANSTALT
FÜR WASSERBAU UND SCHIFFBAU
IN BERLIN

VON

EGER
GEHEMEM BAURAT

DIX
MARINE-BAURAT

R. SEIFERT
WASSERBAUINSPEKTOR

MIT 13 TAFELN UND 84 ABBILDUNGEN IM TEXT



Ino. No. 27994.

BERLIN 1908
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

252

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen

Nachdruck verboten.



III 16671

Handwritten note in a circle: 2 pp. 10. 1910

Akc. Nr. 3959/50

Die Begründung neuer Versuchsanstalten ist ein erfreuliches Zeichen der fortschreitenden Erkenntnis ihres hohen Wertes für Wissenschaft und Praxis. Der Versuch erspart dem Praktiker manch schweres Lehrgeld, er ersetzt oft die Erfahrung und ebnet der Wissenschaft die Pfade des Fortschritts. Vor allem ist es die Technik, die des Versuchs nicht entraten kann, wenn sie auf ihren nicht selten gefährvollen und opferreichen Wegen sicheren Fußes voranschreiten und den ungeduldigen Forderungen der Neuzeit Genüge leisten will. Hierzu kommt, daß für viele Fragen der Technik die Wissenschaft keine bestimmte Antwort hat, entweder weil die Theorie noch nicht weit genug ausgebildet ist, oder weil verwickelte und unberechenbare Nebenumstände mitwirken, die das Ergebnis in jedem einzelnen Falle mit bestimmen und deren Einfluß ohne den Versuch nicht ermittelt werden kann. Aus solchem Grunde ist der Schiffbauer genötigt zur Feststellung des Widerstandes eines bewegten Schiffskörpers im Wasser und der zu seiner Überwindung erforderlichen Kraft den Modellversuch zu Hilfe zu nehmen, und ebenso müssen fast alle zur Messung von Geschwindigkeiten, Kraftleistungen, Wägungen und dergl. dienenden Geräte geeicht, d. h. durch den Versuch geprüft und richtig gestellt werden. Den in diesen Richtungen bestehenden Bedürfnissen der Technik verdankt auch die Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau ihre Entstehung.

Die Vorgeschichte.

Schon in Verbindung mit dem Neubau der Technischen Hochschule in Berlin wurde eine Einrichtung zu flußbaulichen Versuchen, zur Eichung von hydrometrischen Geräten,

zum Unterricht in ihrer Handhabung, zur Messung von Schiffswiderständen u. dergl. m. angestrebt, und ein Entwurf dazu von dem verstorbenen Professor Schlichting ausgearbeitet. An derselben Stelle, wo nunmehr 20 Jahre später die Anstalt errichtet worden ist, plante er einen offenen, nur mit den nötigen Überbrückungen versehenen Graben von rd. 6 m Wasserspiegelbreite, geböschten Wänden und 1 m Wassertiefe längs durch die Schleuseninsel des Landwehrkanals, oberhalb mit einer Eintrittschleuse versehen, um Schiffsmodelle einzubringen. Die Ausführung scheiterte am Kostenpunkt und an den Schwierigkeiten, die der Hergabe des zum Tiergarten gehörigen Geländes entgegentraten.

Zum Eichen von hydrometrischen Flügeln bestand in Deutschland bisher nur die zur Technischen Hochschule in München gehörige, von Professor Dr. Schmidt geleitete Anlage, ein offener Kanal von rd. 1 m Tiefe und 1,20 m Lichtweite. Zur Messung von Schiffsmodellwiderständen hatte sich die Schiffbaugesellschaft „Kette“ in Übigau in Dresden eine eigene Anstalt eingerichtet, die für kleine Abmessungen mit einem Becken von 60 m Länge, 5 m Sohlenbreite, 8 m im Wasserspiegel und 1,20 m Wassertiefe ohne Bedachung angelegt war. Verhandlungen wegen Übernahme und Ausbaues dieser Anstalt durch die preußische Regierung und das Reichsmarineamt führten zu keinem Ergebnis, und um das Jahr 1896 wurde der Plan zur Errichtung einer eigenen Anstalt in Berlin vom preußischen Minister der öffentlichen Arbeiten von neuem aufgenommen, um endlich für die Eichung der im amtlichen Gebrauch befindlichen Flügel und für sonstige wasserbauliche Versuche in Berlin sorgen zu können. Inzwischen waren nach dem Vorgange Englands,

wo zuerst die Schiffswiderstände an Modellen untersucht und besondere Anstalten dafür errichtet worden sind,¹⁾ auch in Spezia, in St. Petersburg und in Washington ähnliche Anlagen für die Marinen der betreffenden Staaten geschaffen worden, und in Bremerhaven hatte der Norddeutsche Lloyd seine Werft damit versehen. Die deutsche Marineverwaltung war genötigt, ihre Modellversuche für hohe Gebühren in Spezia oder in Bremerhaven ausführen zu lassen, wobei schon die erforderliche Geheimhaltung nicht in solchem Maße gesichert erschien, wie in einer eigenen Anstalt. Auch einer großen Zahl deutscher Schiffswerften war es erwünscht, eine amtliche Anstalt in Deutschland entstehen zu sehen, in der sie Modelle für große Seeschiffe schleppen lassen konnten und wo ihr geistiges Eigentum gewahrt blieb.

So fand bei den Verhandlungen über die der Versuchsanstalt zu gebende Größe und Gestalt der Vorschlag Annahme, das Becken, welches zunächst zur Eichung von Wassermeßgeräten und wasserbaulichen Versuchen in kleineren Abmessungen vorgesehen war, so einzurichten, daß darin Modelle für die größten Kriegs- und Handelsschiffe von angemessener Größe und mitentsprechender Geschwindigkeit geschleppt werden konnten.

Das Reichsmarineamt, welches von Anfang an die Begründung einer solchen Anstalt in Berlin aufs wärmste befürwortet hatte, erklärte sich bereit, für diesen Zweck ein Viertel der Bau- und Betriebskosten zu übernehmen, wenn ihm die Anstalt auf drei Monate jedes Jahres zur Verfügung gestellt würde.

Auch für die Eichung der Flügel mußte Wert darauf gelegt werden, ein Wasserbecken von möglichst reichlichem Querschnitt zu besitzen.

An einer zuverlässigen Eichung der hydrometrischen Geräte und der Förderung flußbaulicher Versuche nimmt auch die Landwirtschaftsverwaltung lebhaften Anteil, und die Technische Unterrichtsverwaltung in Berlin erblickte für zwei Abteilungen, den Wasserbau und den Schiffbau, in der zu errichtenden Anstalt die Befriedigung einer seit langen Jahren gestellten Forderung. Demgemäß wurden in kommissarischen Beratungen, an denen die genannten Verwaltungen und das Finanzministerium beteiligt waren, die Grundlagen für den Entwurf der Anstalt festgestellt. Es fehlte nicht an Bedenken und Zweifeln bezüglich der Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit einer solchen Anlage und der darin vorzunehmenden Arbeiten, bezüglich des friedlichen Zusammenwirkens der verschiedenen Verwaltungen und der ersprießlichen Bearbeitung so verschiedener Aufgaben in derselben Anstalt. Auch wurde es von mancher Seite für erwünscht erachtet, die Anstalt mit der soeben im Bau begriffenen Technischen Hochschule in Danzig zu verbinden. Schließlich gaben die ersten Forderungen, die

besonders auch von dem Staatssekretär des Reichsmarineamts für Berlin geltend gemacht wurden, und die Schwierigkeit der Beschaffung der Geldmittel für getrennte Anstalten den Ausschlag für die Ausführung des Unternehmens. Neben dem für das Schleppen von Schiffsmodellen, für das Eichen von Flügeln und für wasserbauliche Versuche anzulegenden großen Becken sollte die Anstalt auch mit einem kleineren Versuchsgerinne versehen werden, wie es seit dem Jahre 1890 für die Technische Hochschule in Dresden durch den Professor Engels daselbst angelegt worden war.

Der Entwurf.

Als Bauplatz wurde auch jetzt wieder die Schleuseninsel des Landwehrkanals in Aussicht genommen und konnte nach einigen Schwankungen auch festgehalten werden, nachdem der Kaiser, der die Begründung der Anstalt mit warmer Fürsorge förderte, die Hergabe des zum Tiergarten gehörigen Geländes bewilligt hatte. Die Ministerialbaukommission in Berlin erhielt den Auftrag, den aufgestellten Forderungen entsprechend und unter Berücksichtigung der vorhandenen älteren Vorarbeiten sowie der inzwischen erfolgten auswärtigen Ausführungen den Entwurf zu bearbeiten, der während der Ausführung noch erhebliche Wandlungen durchgemacht hat, bis die Anlage die nachstehend beschriebene und dargestellte Gestalt erhielt (vgl. den Lageplan Text-Abb. 1). Für die Wahl der

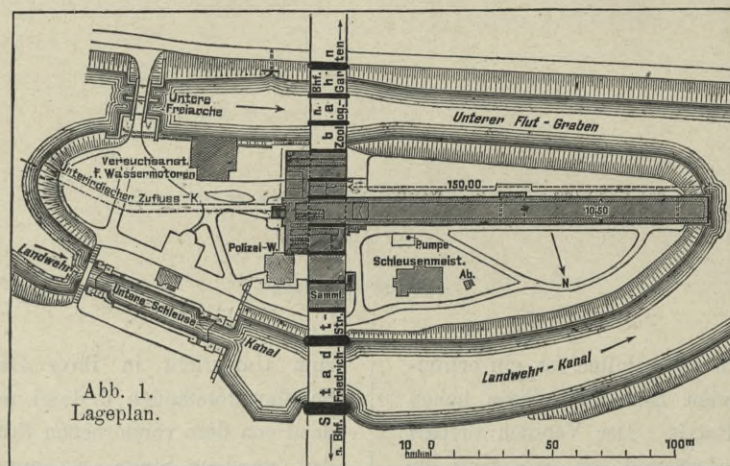


Abb. 1.
Lageplan.

Schleuseninsel sprach ihre günstige Lage zwischen Berlin und Charlottenburg in nächster Nähe zur Technischen Hochschule und die vorhandene Staustufe des Landwehrkanals, die für gewisse Versuche die Verwendung einer reichlichen Wassermenge bis zu mehreren cbm/Sek. mit einem Gefälle von rd. 1,50 m fast das ganze Jahr hindurch gestattet. Der westliche Teil der von der Stadtbahn quer durchschnittenen Insel war gerade lang genug, um das auf 150 bis 160 m Länge zu bemessende Versuchsbecken aufzunehmen. Dieses Gelände hatte ohnehin seit der Erbauung der Stadtbahn für die Benutzung durch Tiergartenbesucher nur noch untergeordneten Wert behalten. Zum Teil war es durch das Schleusenmeister-Wohnhaus in Anspruch genommen und mußte im übrigen durch Vergitterung der Stadtbahnöffnungen gegen unliebsame Besucher gesichert werden. Auf der Ostseite der Stadtbahn war aus ähnlichen Gründen bereits das Polizeiwachtgebäude errichtet, und es bedurfte unter Zuhilfenahme des unter vier Stadtbahnbogen verfügbaren Raumes nur noch der Inanspruchnahme eines mäßig großen Streifens des östlich der Stadtbahn liegenden Inselgeländes, um die Anstalt mit den vorerst erforderlichen Räumen auszustatten. Eine spätere Erweiterung war noch durch Hinzunahme von zwei weiteren Stadtbahnbogen, die zur Aufbewahrung von Baumodellen und dergl. eingerichtet wurden, ermöglicht. So konnte die Beibehaltung dieses

1) S. Zentrabl. d. Bauverw. 1897. S. 538.

Bauplatzes unbedenklich befürwortet werden, nachdem auch ein Zweifel, ob nicht die Zuverlässigkeit des Arbeitens der Apparate durch die Erschütterungen des Stadtbahnverkehrs leiden würde, als hinfällig erkannt worden war. Auch ein Vorschlag, zur Schonung des Tiergartenbestandes die Anstalt auf den Hippodrom im Anschluß an das Grundstück des Tiergartenwasserwerks zu legen, zeigte weniger Vorzüge als Nachteile, so daß schließlich die Entscheidung für das Inselgelände mit großer Befriedigung aufgenommen wurde.

Raumbedarf.

Die Bauanlage hat ihr eigenartiges Gepräge einerseits dadurch erhalten, daß die Anstalt dem Versuchswesen auf zwei verschiedenen Gebieten, dem Wasserbau und dem Schiffbau, dienen sollte, andererseits durch die Einbeziehung der vorhandenen Räume unter der Stadtbahn. Den der Anstalt zugewiesenen Aufgaben entsprechend wurden verlangt:

1. Ein großes überdecktes Versuchsbecken von etwa 150 bis 160 m nutzbarer Länge, 6—7 m Breite und 3,20 m größter Tiefe für die Bestimmung der Schiffswiderstände, die Flügleichungen und den Einbau großer Flußmodelle.
2. Ein Schleppwagen zum Bewegen der Schiffsmodelle, der Propellermodelle und der hydrometrischen Flügel durch das Wasser des Beckens mit allen Apparaten zum Messen und Aufzeichnen der Widerstände, der Zeit und Geschwindigkeit der Bewegung, der Länge des zurückgelegten Weges usw.
3. Eine Werkstatt zur Herstellung der Schiffs- und Schraubenmodelle und sonstiger für die Versuchsarbeiten erforderlichen Gegenstände und Einrichtungen.
4. Eine Rinne von 18—20 m Länge, 2 m Breite und 30 cm Tiefe, zum Einbau und Betrieb kleinerer Flußmodelle und zur Ausführung von Versuchen über die Bewegung des Wassers.
5. Eine Zuleitung vom Oberwasser des Landwehrkanals zu dem großen Becken für den Betrieb größerer Flußbaumodelle.
6. Eine elektrische Kraftanlage zum Betriebe des Schleppwagens, der Werkstattmaschinen und einer Pumpe für die Füllung und Entleerung des großen Versuchsbeckens und für den Betrieb der kleinen Rinne.
7. Drei bis vier Arbeits- und Zeichenzimmer.
8. Nebenanlagen zur Beleuchtung, Heizung und Wasserversorgung und Aborte.

Grundrißanordnung.

Die demgemäß geschaffene Bauanlage gliedert sich der Örtlichkeit angepaßt in einen Quer- oder Kopfbau und in einen Langbau. Letzterer enthält das große Versuchsbecken, während alle übrigen Räume in dem Kopfbau liegen. Von den für den letzteren verfügbaren vier Stadtbahnbogen sind drei je 10 m, der vierte 5,50 m breit, bei einer Tiefe von rd. 15,50 m. Da in ihnen die erforderlichen Räume nicht untergebracht werden konnten, so ist in voller Länge eine Halle von 40 · 9 m Grundfläche vorgelegt, die zugleich die Verbindung der durch die Pfeiler voneinander getrennten Stadtbahnöffnungen bildet. Die Anordnung und Verwendung der Räume ist aus der Grundrißzeichnung Abb. 3 Bl. 1 ersichtlich. Um die Länge der Insel für die große Rinne

am besten auszunutzen, ist das Vorbecken für Trimm-tank, Revisionsgruben und Anlaufstrecke unter die Stadtbahn und in die Vorhalle gelegt. Es erschien zweckmäßig, die Formerei, die Modellschneidemaschine und die Tische für die Aufmessung und Bearbeitung der Schiffsmodelle ähnlich wie in Bremerhaven so zu legen, daß durch einen Gleiskran die Beförderung der Modelle von einem Punkt zum andern und bis zum Trimm-tank erfolgen konnte. In der Achse der großen Rinne liegt der Haupteingang, links davon die Bureauräume in zwei Stockwerken, der Raum für die kleine Versuchsrinne und in dem kleinen Stadtbahnbogen die Gaskraftmaschine mit Dynamo und Bufferbatterie, sowie die Heizkessel, die Pumpe und ein Geräteraum. In dem nördlichen Stadtbahnbogen befand sich ursprünglich die Werkstatt hinter der Modellformerei.

Schon nach zweijährigem Betriebe ist die Hinzunahme eines fünften Stadtbahn Bogens notwendig geworden, in dem ein größerer Werkstatttraum und ein Zeichensaal eingerichtet ist, während aus der früheren Werkstatt ein Lagerraum und Bureauzimmer gewonnen worden sind.

Die große Versuchsrinne.

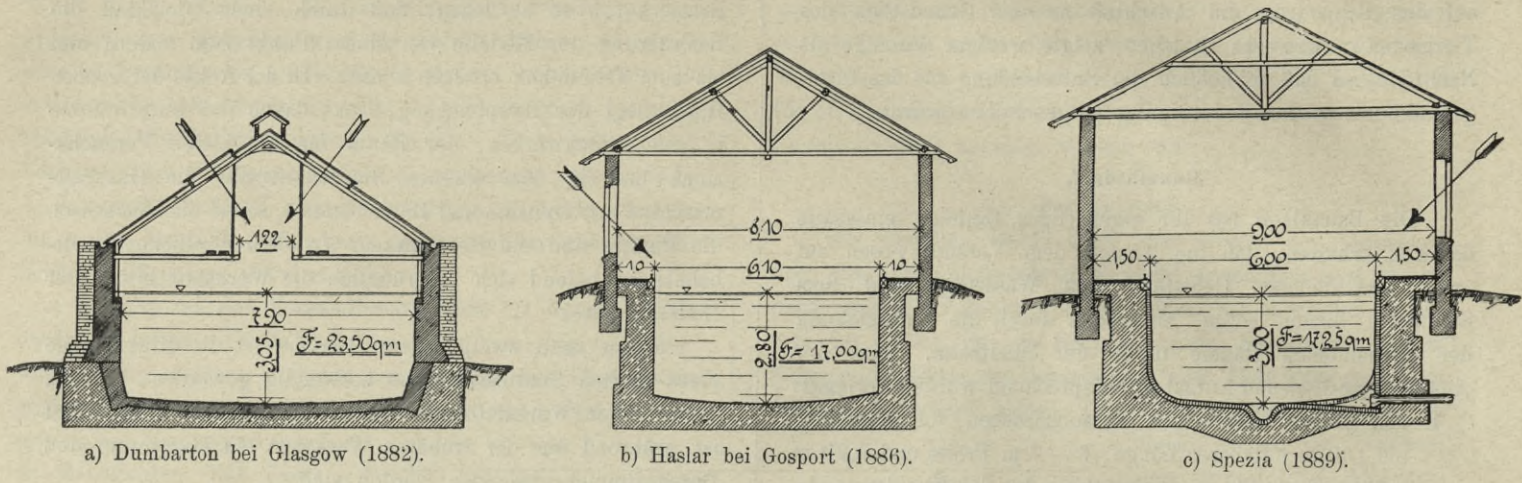
Die Abmessungen des Wasserbeckens sind nach den Bedürfnissen der Schiffbauabteilung bestimmt worden. Für das Eichen der Flügel und für Flußmodell-Versuche sind sie jedenfalls mehr als ausreichend.

Nach der Querschnittsgröße der vorhandenen Anstalten, die in der Text-Abb. 2 *a* bis *f* dargestellt sind, erschien zur Zeit der Bearbeitung des Entwurfs eine Breite von 6,5 bis 7 m und eine Wassertiefe von 3,20 m genügend. Sie sollte demgemäß den in Text-Abb. 3 dargestellten Querschnitt in Beton gemauert erhalten. Bezüglich der Höhenlage kam in Betracht, daß der bei + 32,0 N.N. liegende Wasserspiegel des Landwehrkanals von dem der Versuchsrinne nicht überschritten werden sollte, um erforderlichen Falles den ganzen oberen Teil des Rinnenquerschnitts für Durchflußversuche mit Kanalwasser benutzen zu können. Demgemäß wurde + 32,0 für den Wasserspiegel der gefüllten Rinne festgesetzt. Der gewöhnliche Grundwasserstand der Insel liegt bei + 30,60 N.N. wenig über dem gewöhnlichen Unterwasserspiegel des Landwehrkanals, der von dem im Charlottenburger Wehr bei Niedrigwasser auf + 30,40 gehaltenen Wasserspiegel der Spree bestimmt wird und gewöhnlich auf etwa + 30,50 liegt. Somit kann der obere Teil des Wasserinhaltes des Beckens von etwa 1,50 m Höhe in die untere Haltung des Landwehrkanals abgelassen, der untere Teil aber nur durch Pumpen entleert werden.

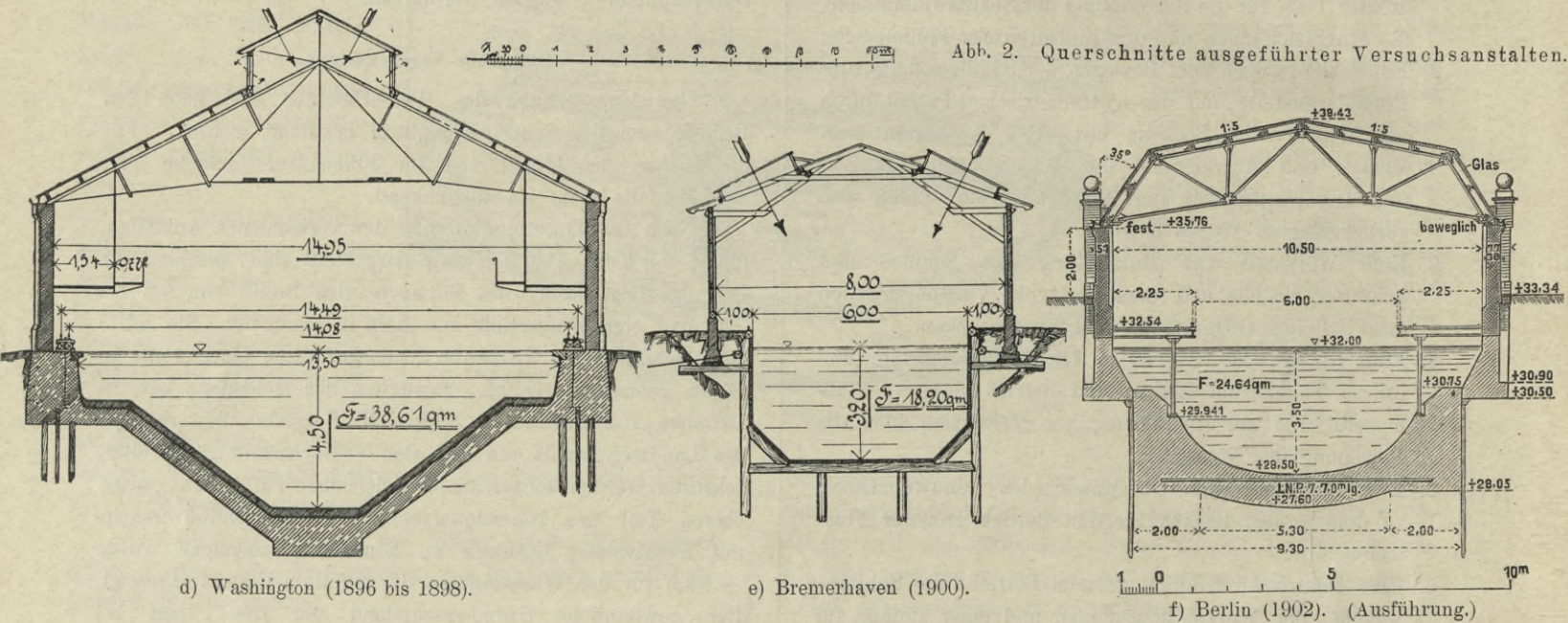
Die gewählte Höhenlage ist auch insofern zweckmäßig, als der Überdruck nach außen bei gefülltem Becken und der nach innen bei entleertem annähernd gleich groß sind. Nachdem der Entwurf in dieser Form festgesetzt und die Ausführung bereits eingeleitet war, wurde besonders auf Betreiben des Reichsmarineamts mit Rücksicht auf die stetig steigenden Abmessungen und Geschwindigkeiten der Schiffe und auf die günstigen Erfolge, die in dem großen Versuchsbecken in Washington mit Modellen in entsprechend großen Maßstäben und großen Geschwindigkeiten erzielt werden, eine Änderung dahin beschlossen, daß die Wasserspiegelbreite 10,50 m, die Wassertiefe 3,50 m betragen sollte, um mit

Modellen bis zu 1 m Breite und 35 cm Tiefgang arbeiten zu können. Da die Spundwände zur Umfassung der Baugrube zum Teil schon geschlagen waren, so wurde unter Tieferlegung der Sohle der obere Teil des Beckenquerschnittes in der in Abb. 7 Bl. 1 dargestellten Form erweitert. Damit

Mauerwerk der unteren Rinne in der Linie über der Spundwand anschließt, durch verschiedenes Setzen eine Fuge entstehen könnte, die Durchsickerungen veranlassen würde. Deshalb wurde zwischen Spundwandoberkante und Fundamentunterkante eine Tonschicht eingelegt. Sie hat sich aber nach



a) Dumbarton bei Glasgow (1882). b) Haslar bei Gosport (1886). c) Spezia (1889).



d) Washington (1896 bis 1898). e) Bremerhaven (1900). f) Berlin (1902). (Ausführung.)

wurde auch die ungünstige Wirkung, die von dem Gewicht der Halle auf die Widerstandsfähigkeit der Beckensohle ausgeübt wird, beseitigt. Freilich mußte erwartet werden, daß an der Stelle, wo das Fundament der Hallenwand an das

der Ausführung als unnötig herausgestellt, da die erwartete Fuge sich nicht gebildet hat.

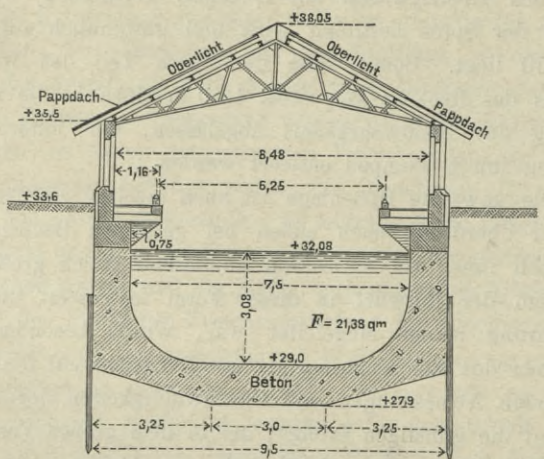


Abb. 3. Querschnitt durch die große Versuchsrinne. (Entwurf.)

geübt wird, beseitigt. Freilich mußte erwartet werden, daß an der Stelle, wo das Fundament der Hallenwand an das

Der obere dem Eingang zunächst liegende 11,40 m lange Teil der großen Rinne ist in vier Streifen zerlegt, in der Mitte die 1,38 m breite Grube zur Besichtigung des Schleppwagens von der Unterseite, links daneben der 2 m breite Hafen, der zugleich die mit einer stehenden Drosselklappe verschließbare Mündung des ebenso breiten Zuflußkanals vom Oberwasser des Landwehrkanals aufnimmt, rechts der 1,2 m breite Trimmtank für die Schiffsmodelle und daneben noch eine 0,75 m breite Grube zum Trimmen. Hafen und Trimmtank sind gegen die große Rinne durch Holzschütze verschließbar, die Gruben ringsum wasserdicht geschlossen und durch Treppen zugänglich. Der anschließende Teil der Rinne bis zum Ausgang des Stadtbahnbogens hat nur 1,50 m Wassertiefe erhalten, um durch größere Austiefung die Standicherheit der Stadtbahn Pfeiler nicht zu gefährden und weil in der Anlaufstrecke diese Tiefe genügt. Im Anschluß daran ist die Rinne als 7 m breites Schleusen Haupt mit Tornischen, Drempeel und Umläufen ausgebildet, um erforderlichen Falles

Versuche über die Bewegung von Schleusentoren und anderen Verschlußvorrichtungen anstellen zu können.

Etwa in der Mitte der Hallenlänge ist links ein seitlicher Ausbau angeordnet. Die Seitenwand der Rinne ist hier bis auf 80 cm unter Wasserspiegel durch eine eingelassene 2 m lange Glasscheibe ersetzt (Abb. 7 Bl. 1). Von dem vorgelegten vertieften und durch eine Treppe zugänglichen Seitengang kann das vorüberfahrende Modell und die Wasserfläche in Augenhöhe beobachtet und photographiert werden. In der unteren Querwand der großen Rinne ist eine 2 m breite, durch ein zweiteiliges hölzernes Gleitschütz verschließbare Abflußöffnung nach dem Unterwasser des Landwehrkanals angelegt. Die Öffnung reicht bis zur Sohle, um auch als Grundablaß zu dienen und nach Bedarf einen reichlichen Durchfluß zu ermöglichen. Nachträglich ist hier eine dünne Abschlußmauer vor die Schützöffnung gelegt worden, und damit der durch die Undichtigkeit des Schützes eintretende Wasserverlust beseitigt (Abb. 4 Bl. 1). In der Tiefe ist ein 30 cm weites Rohr mit Schieberverschluß, an der Oberfläche eine mit einem Holzschieber verschließbare Öffnung gelassen worden, die für den gewöhnlichen Betrieb völlig ausreichen. Für besondere Fälle würde diese Wand wegzubrechen sein.

Das Mauerwerk der großen Rinne besteht durchweg aus Stampfbeton. Die ungünstigste Beanspruchung tritt ein, wenn das Becken wasserleer ist. In diesem Zustande sowohl wie auch im wassergefüllten sollen die Wandungen auch tunlichst wasserdicht sein. Die Abmessungen wurden so gewählt, daß rechnermäßig Druckspannungen von 5 kg/qcm nirgends überschritten werden. Bei gefülltem Becken ergeben sich rechnermäßig Zugspannungen in der Sohlenmitte von $1\frac{1}{2}$ bis 2 kg/qcm, auf deren Mitwirkung nicht gerechnet ist. Um aber der notwendigen Dichtheit wegen Rissebildung auf alle Fälle auszuschließen, sind von Meter zu Meter 1-Eisen Nr. 7 eingelegt, durch deren Stege alle Meter 10 cm lange Dübel von 1 cm starkem Rundeisen gesteckt sind, welche die Verbindung zwischen Eisen und Beton sichern. Der Beton ist aus 1 Teil Portlandzement, $\frac{1}{2}$ hydraulischem Kalk, 3 Sand und 5 Kies gemischt. Die äußere vom Erdboden und den Spundwänden berührte Schicht wurde auf 15 cm Stärke in fetterer Mischung 2 Zement zu 4,5 Sandkies hergestellt.²⁾ Die Innenfläche hat eine besondere Dichtung durch Putz oder dergl. nicht erhalten. Der anfängliche Wasserverlust betrug nach der ersten Füllung etwa 40 mm Höhe oder 64 cbm in 24 Stunden, ist aber, besonders nachdem der Verlust durch das Schütz beseitigt war, allmählich auf 2 mm herabgegangen.

Die Ausführung erfolgte unter Senkung des Grundwasserstandes durch außerhalb der Baugrube gesenkte Rohrbrunnen. Die eingerammten Umfassungswände bestehen deshalb aus ungespundeten Bohlen von 8 cm Stärke. Der Unternehmer, der den Erdaushub und die Betonierung einschließlich Wasserhaltung übernommen hatte, vermied die störenden Versteifungen innerhalb der Baugrube dadurch, daß er in Abständen von 4 m Schrägpfähle einrammte, die, mit den Bohlwandzangen verbolzt, die Wände gegen den Erddruck genügend versteiften (Text-Abb. 4). Diese Pfähle sind unter der Fundamentsohle der Hallenwand stehen geblieben und haben

2) Näheres über die hierbei angestellten Versuche mit Betonmischungen s. Zentralbl. d. Bauverw. 1904. S. 449.

wohl mit dazu beigetragen, daß ein Absetzen dieses Mauerkörpers von dem der Rinne nicht eingetreten ist. Die während des unausgesetzten Pumpens beobachtete Grundwasserlinie

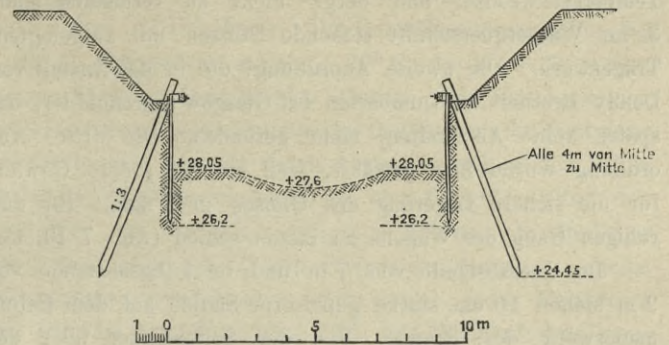


Abb. 4. Versteifung der Bohlwände der Baugrube.

in der Umgebung der Baugrube ist in Text-Abb. 5 und 6 dargestellt. Sie zeigt die Senkung des Grundwasserstandes unter dem Flutgraben des Landwehrkanals hindurch bis auf das jenseitige Ufer, wenn auch mit einigen nicht ganz aufgeklärten Unregelmäßigkeiten. In ähnlicher Weise zeigte sich später, als bei der Ausführung des großen Schöneberger Notauslaßkanals die Baugrube am jenseitigen Ufer tief ausgepumpt wurde, daß das Wasser in dem für die Anstalt auf der Insel angelegten Brunnen tief abfiel. Daraus ist zu schließen, daß das Bett des Landwehrkanals durch Ablagerungen dichter geworden ist, als die tieferliegenden Erdschichten, denen das Grundwasser auf weite Entfernung entzogen wurde, ohne daß das höher und näher liegende Kanalwasser in überwiegender Menge zuströmte.

In den Betonkörper sind in regelmäßigen Abständen Bolzen mit kräftigen Ösen eingelassen, an denen erforderlichen Falles Rüstungshölzer zum Einbau von Profilbegrenzungen befestigt werden können.

Die Rinne ist in voller Ausdehnung, soweit sie außerhalb des Stadtbahn Bogens liegt, mit einer massiven Halle überdeckt. Die zwischen den Verstärkungspfählen $1\frac{1}{2}$ Stein starken Seitenwände reichen durchschnittlich nur etwa 2 m über das Erdreich, darüber erhebt sich das mansardenförmige Dach aus eisernen Bindern mit hölzernen Längspfetten und Ruberoiddeckung auf Holzschalung. Die ganze nordseitige Mansardenfläche ist mit Rohglasscheiben versehen, Fenster enthält im übrigen nur der Mittelbau und der Endbau auf beiden Seiten, ersterer um Licht zu photographischen Aufnahmen zu erhalten. Die Beleuchtung von der Nordseite ist tunlichst durchgeführt worden, weil die Wärme der Sonnenstrahlen die Erhaltung der aus Paraffin bestehenden Schiffsmodelle erschwert. Aus diesem Grunde ist auch die Vorhalle vor der Rinne und der Werkstatt mit sägeförmigem Dach versehen, dessen Glasflächen nach Norden liegen (Abb. 5 Bl. 1). Die Versuchsarbeiten sind hiermit den zufälligen Einflüssen von Wind und Wetter entzogen.

Die Gleisanlage.

Das Gleis für den Schleppwagen ist nach eingehenden Erwägungen auf 6 m Spurweite beschränkt worden, weil bei einem noch weiter freitragenden Schleppwagen zu starkes Federn und zu großes Eigengewicht zu befürchten war. Da gleichzeitig die Wasserspiegelbreite auf 10,50 m festgesetzt war, so blieben für die Unterstützung des Gleises nur drei

Lösungen übrig: 1. ausgekragte Seitenstege von je 2,25 m Breite, von denen federnde Bewegungen befürchtet wurden; 2. Aufhängung an die Dachbinder, wobei Bewegungen durch Temperaturwechsel und dergl. nicht zu vermeiden sind; 3. im Wasserquerschnitt stehende Stützen mit aufgelegtem Trägerwerk. Die zweite Anordnung, die in der Anstalt von Denny Brothers in Dumbarton bei Glasgow getroffen ist, hat später keine Anwendung mehr gefunden. Die dritte Anordnung wurde hier gewählt, weil sie die größte Gewähr für die sichere Lagerung des Gleises und damit für den ruhigen Gang des Wagens zu bieten schien (Abb. 7 Bl. 1).

Im Querabstande von 7 m und im Längsabstande von 2 m stehen 10 cm starke gußeiserne Säulen auf dem Betonmauerwerk der Rinne. Von der Seitenmauer über den Säulenkopf gestreckte Querträger tragen an ihrem 0,50 m überkragenden Ende den 20 cm hohen Längsträger mit der

Abb. 5 u. 6. Grundwasserbeobachtung während der Wasserhaltung.

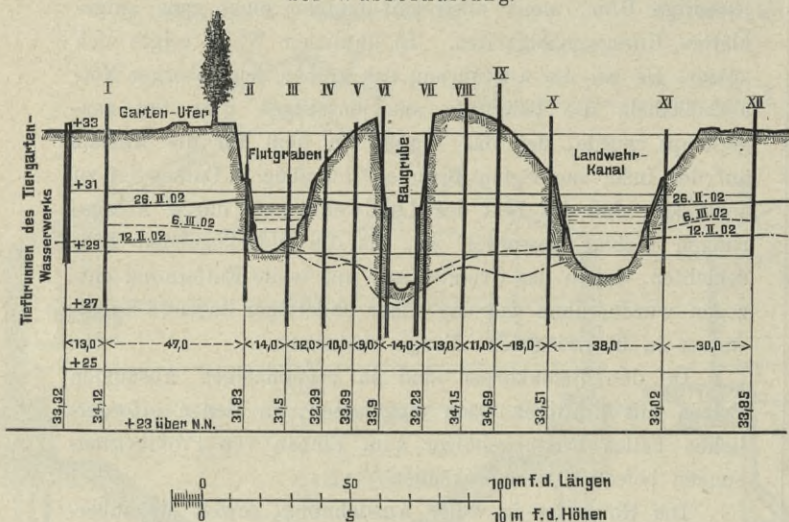


Abb. 5. Schnitt durch die Schleuseninsel, parallel zur Stadtbahn.

9 cm hohen Schiene, die auf einer 10 cm hohen Eichenholzschwelle gelagert ist. Einen meßbaren Einfluß auf den Schleppwiderstand üben die eingebauten Säulen nicht aus. Dies wurde vorher durch Versuche in Bremerhaven festgestellt. Die Seitenstege sind mit wagerechtem Diagonalverband versehen und mit Holzbohlen belegt. Schienenoberkante liegt etwa 70 cm über dem gewöhnlichen Wasserspiegel des Beckens. An der einen Schiene, auf der die Wagenräder mit Flanschen laufen, sind die obere und die beiden Seitenflächen des Kopfes gehobelt, an der anderen nur die obere, auf der die Räder ohne seitliche Führung laufen. Zur Befestigung der Schienen sind auf die oberen Flanschen des 20 cm hohen I-Trägers in Abständen von 60 cm schmiedeeiserne Platten von 20 cm Breite genietet, mit denen die Eichenholzschwelle für die Schienen verbolzt ist. Die Schiene ist auf der Schwelle durch Hakenschrauben befestigt, die eine seitliche zur genauen Geraderichtung der Schiene dienende Verschiebung des Schienenfußes gestatten. Die Schienenstöße waren ursprünglich durch Seitenlaschen, die bis zur Oberfläche des Kopfes reichten, gedeckt. Da sich hierbei Schläge bemerkbar machten, deren Beseitigung auch durch verstärkte Stoßverbindungen und Unterlagsplatten nicht zu beseitigen waren, so sind die Schienen nachträglich an sämt-

lichen Stößen von der Firma Goldschmidt in Essen nach ihrem Thermitverfahren geschweißt worden, so daß jede Schiene jetzt eine völlig ununterbrochene Lauffläche von rd. 170 m Länge bildet. Störungen infolge von Wärmewechsel haben sich hieraus nicht ergeben. Da die Halle im Winter geheizt wird und im Sommer durch die beträchtliche Wassermasse und den Ausschluß direkten Sonnenlichts kühl gehalten wird, schwankt die Temperatur höchstens um 12 bis 13°. Nach besonders kalten Winternächten ist bei den ersten Wagenfahrten ein Knarren der Schienen zu hören, womit sich vermutlich das Auslösen eingetretener Temperaturspannungen vernehmlich macht, ohne sonstige Übelstände herbeizuführen.

Die Werkstatt.

Die Werkstatt — Tischlerei und Dreherei — befindet sich jetzt in dem neu angeschlossenen fünften Stadtbahn-

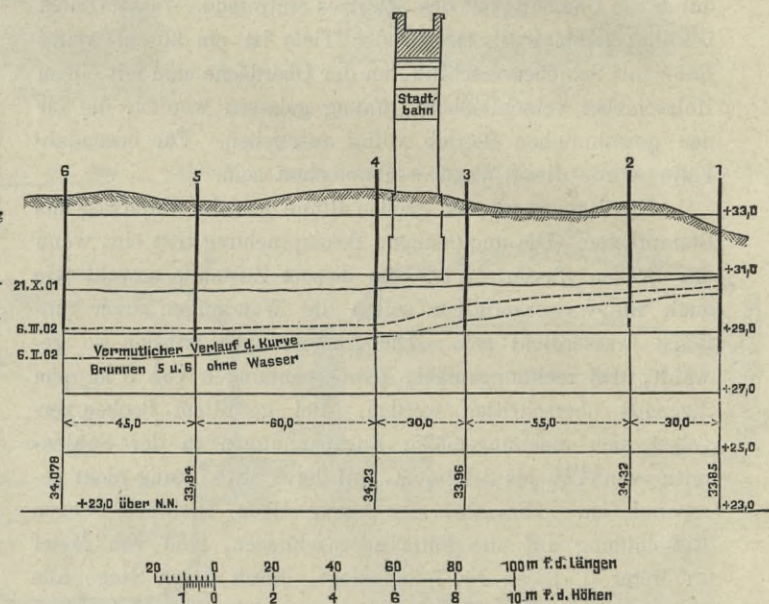


Abb. 6. Schnitt quer zur Stadtbahn.

bogen, während in dem vierten mit der vorliegenden Halle die Modellschneide-Maschine, die Modellformerei und der Paraffin-Schmelzofen verblieben sind. Dasselbst wird auch der in Ausführung begriffene Modellaufmeßapparat Platz finden. Der Fußboden in der Werkstatt und den Bureauzimmern ist gediebt, alle übrigen Räume zu ebener Erde sind mit künstlichen Granitfliesen „Kometa“ ohne Unterlage belegt.

Die kleine Versuchsrinne.

In dem südlichsten Stadtbahnbogen und der vorgelagerten Halle liegt die sogenannte „kleine Versuchsrinne“, die hauptsächlich für Modellversuche auf dem Gebiet des Flußbaus und dergl. bestimmt ist (vgl. Abb. 1 bis 3 Bl. 2). Sie ist nach dem Muster des in der Dresdener Hochschule von Engels zuerst eingerichteten Flußbau-Laboratoriums als ein 2 m breites, 0,30 m tiefes eisernes Gerinne von 20 m Länge angelegt, welches in eine beliebige Neigung zwischen wagerecht und 1:50 eingestellt werden kann und mit den nötigen Vorkehrungen versehen ist, um genau bemessene Wassermengen bis zu 50 l/Sek. hindurchfließen zu lassen. Sie ist über einem etwa 1,50 m tiefen, 2,20 m breiten Betonbecken gelagert, das den Fußboden des Raumes in voller Länge durchschneidet und den Rücklauf und Vorratsbehälter für das in der Rinne

benutzte Betriebswasser bildet. Am westlichen Ende steht über der Rinne ein eiserner Zuflußbehälter, am östlichen Ende ist der Sandfang mit Abflußrohr und neben der Betonrinne das Eichgefäß angebracht. An der südlichen Pfeilerwand entlang stehen hölzerne Behälter für die zu den Flußmodellen gebrauchten verschiedenartigen Sande und sonstigen Baustoffe, darüber eine mit Stufen zugängliche Plattform für die Zuschauer bei Vorführungen zum Zwecke des Unterrichts (vgl. Abb. 2 u. 3 Bl. 2).

Der Zuleitungskanal.

An der oberen Spitze der Insel liegt der Einlauf des Zuleitungskanals, der unterirdisch und unter der Vorhalle hindurch bis zum Vorhafen neben dem Trimmtank der großen Rinne geführt ist und für Wasserbauversuche großen Maßstabes, zu denen die Leistung der vorhandenen Pumpe nicht ausreichen würde, größere Wassermengen aus dem Landwehrkanal zubringen kann. Der Kanal ist von hufförmigem Querschnitt, 2 m im Lichten weit und 1,25 m hoch von Beton gestampft. Der Einlauf ist mit einem schräg stehenden Schutzgitter gegen gröbere Schwimmstoffe versehen, dahinter ist Raum zur Einfügung eines Koksfilters, um erforderlichen Falles das zufließende Kanalwasser einer gründlicheren Reinigung unterziehen zu können. Die Mündung des Kanals in die große Rinne ist durch eine eiserne Drosselklappe an senkrechter Welle mit Schraube und Zahnrad drehbar verschlossen. Von diesem Kanal ist eine 40 cm weite Rohrleitung abzweigend, die unter der östlichen Frontwand hindurch in das unter der kleinen Rinne liegende Becken mündet (s. Grundriß Abb. 3 Bl. 1). Am westlichen Ende besitzt dieses Becken eine entsprechende Ausmündung nach dem außen in den Flutgraben entwässernden Kanalrohr; Ein- und Ausmündung sind durch Schieberschütze verschließbar, so daß es für Durchflußversuche mit größeren Mengen von Kanalwasser benutzt werden kann, wenn die eiserne Rinne von ihren Lagern genommen und hochgehoben wird.

Auf der Westseite der kleinen Rinne ist ein kleiner Hofraum mit dem Grundwasserbrunnen zur Entnahme des Betriebswassers für beide Versuchsrinnen angelegt. Die östliche und die westliche Frontwand und ein Teil der südlichen sind reichlich mit Fenstern versehen, auch ein Teil der Dachfläche ist verglast, so daß der Raum unter dem Stadtbahngewölbe ausreichend beleuchtet ist.

Maschinen- und Heizraum.

Zwischen der kleinen und der großen Rinne liegt ein Stadtbahnbogen von 5 m Weite, deren westliche Hälfte zweistöckig ausgebaut im unteren Geschoß den Heizkessel für die Niederdruckdampfheizung und die elektrisch betriebene Kreislumpumpe mit ihrem Motor und den Verschußschiebern enthält, während die östliche Hälfte in nebeneinander liegenden Räumen die Gaskraftmaschine mit Dynamo und Schaltbrett und die Akkumulatorenbatterie beherbergt. Der Raum über dem Heizkesselraum dient zur Lagerung von Brennstoffen und Geräten. Die sämtlichen Räume der Anstalt mußten heizbar eingerichtet werden, weil sie den ganzen Winter hindurch in Benutzung sind.

Die Heizung.

Die Sammelheizung besteht in einem möglichst tief gestellten Niederdruckdampfkessel liegender Bauart von 54 qm

Heizfläche, der Dampfzuleitung, den Rippenheizkörpern, der Rücklaufleitung, Zentralentlüftung und dem frei vor die Westfront gestellten etwa 15 m hohen Schornstein. Der Kessel hat 0,1 Atm. Betriebsdruck. Die Geschäftszimmer sollen bei -20° C. Außenwärme auf bis $+20^{\circ}$ C., die Werkstätten usw. bis $+15^{\circ}$ C. erwärmt werden können. Die Hauptzuleitung der großen Rinne ist dicht unter der Dachfirst an die Firstpfette aufgehängt und versorgt durch Abzweige nach beiden Seiten die an den Wänden 50 bis 60 cm über Ganghöhe befestigten Heizkörper aus liegenden gerippten Röhren. In ähnlicher Weise sind auch die übrigen Räume der Anstalt — einige mit stehenden Heizkörpern — versorgt. Jeder Heizkörper kann für sich geregelt werden. Zu- und Rücklaufrohre liegen in den Räumen mit Fliesenfußboden in einem unter diesem angelegten flachen Kanal aus Ziegeln.

Abort und Wasserversorgung.

Die Aborte sind in dem Winkel zwischen der Nordfront der Längshalle und der Westfront der Stadtbahn angebaut und für Tonnen eingerichtet, da die Insel nicht an das Kanalnetz angeschlossen ist. Das Wasser für Hand- und Spülbecken sowie zum Kühlen der Gaskraftmaschine wird den Berliner Werken entnommen, alles übrige, besonders zum Betriebe der großen und der kleinen Rinne der Kostenersparnis wegen aus dem Brunnen. Letzteres ist leicht eisenhaltig und trübt sich nach Füllen des großen Beckens, wird aber nach acht- bis vierzehntägigem Stehen wieder klar und erlangt besonders nach Zusatz einer geringen Menge gelöschten Kalkes eine befriedigende Durchsichtigkeit.

Das Regen- und Waschwasser sowie das verbrauchte Betriebswasser wird durch eine Tonrohrleitung nach dem Landwehrkanal abgeführt (Abb. 1 u. 2 Bl. 2).

Beleuchtung.

Die sämtlichen Räume der Anstalt und der Apparatewagen sind mit Glühlampen beleuchtet, außerdem die Vorhalle, die Werkstatt und der Raum der kleinen Rinne mit Bogenlampen, die durchweg aus der eigenen Anlage gespeist werden. Die Gaskraftmaschine, der Paraffinschmelzofen und das Schmiedefeuer in der Werkstatt erhalten das erforderliche Gas aus den Berliner Werken.

Die Baukosten.

Die Baukosten der Anstalt haben im ganzen (ohne Bauleitungskosten) einschließlich der Maschinen und Apparate rd. 382000 \mathcal{M} betragen, die sich wie folgt verteilen:

Erdarbeiten	48 000 \mathcal{M}
Zimmer- und Maurerarbeiten	120 000 „
Eisenkonstruktionen und Dachverschalung	54 000 „
Fußböden, Fenster, Türen usw.	10 000 „
Pumpenanlage, Wasserleitung, Entwässerung,	
Abort	9 500 „
Heizung	14 500 „
Die Modellschneidemaschine	12 500 „
Der Schleppwagen mit Modell- und	
Schraubendynamometer	36 500 „
Der Schmelzofen	1 500 „
Die Werkstatteinrichtung	6 500 „
	<hr/>
	Seitenbetrag 313 000 \mathcal{M}

	Übertrag	313 000 <i>M</i>
Die Gaskraftmaschine, die elektrische Kraft- und Lichtanlage nebst Akkumulatoren- batterie		30 000 „
Die kleine Versuchsrinne nebst Meß- und Eichungsapparat und Profilzeichner . .		10 000 „
Alle sonstigen Apparate und Einrichtungen, Tagelohnarbeiten, Versuche, Bureauein- richtung usw.		29 000 „
	zusammen	382 000 <i>M</i> .

Die Baukosten sind durch die Benutzung der Stadtbahn-
bogen wesentlich herabgemindert.

Der zur Ausführung gebrachte oben beschriebene Ent-
wurf der Anstalt ist auf Grund der in der Bauabteilung des
Ministeriums der öffentlichen Arbeiten gefertigten Vorarbeiten
in der Ministerialbaukommission vom Baurat Lierau und
Wasserbauinspektor Schümann verfaßt und von dem Ge-
heimen Baurat Werner geprüft worden. Auf Grund der
Erfahrungen, die in der mittlerweile in Bremerhaven er-
richteten Schiffsmodellschleppstation des Norddeutschen Lloyd
gemacht waren, und örtlicher Besichtigung der englischen Ver-
suchsanstalten in Dumbarton und Haslar sowie der von den
Vertretern des Reichsmarineamts und der Technischen Hoch-
schule geltend gemachten Wünsche hat dann der Entwurf
mancherlei erhebliche Abänderungen, Erweiterungen und Er-
gänzungen erfahren, wobei auch die Flußbaulaboratorien der
Technischen Hochschulen in Dresden und Karlsruhe wertvolle
Dienste leisteten. Die architektonische Durchbildung des Bau-
werks ist nach Angaben des Geheimen Oberbaurats Dr.-Ing.
Dr. Thür durch den Regierungs-Baumeister Gerhardt er-
folgt. Die gesamten Maschineneinrichtungen bearbeitete mit
Genehmigung des Staatssekretärs für das Reichsmarineamt
der Marine-Schiffbaumeister Dix. Nach seinen Angaben ist
die Herstellung der Modellschneidemaschine, des Schlepp-
wagens und der Kraft- und Arbeitsanlage nebst den zuge-
hörigen Geräten durch Schuckert u. Ko., die Ausführung des
Modelldynamometers, des Schraubendynamometers nebst allem
Zubehör und der Schraubenmeßvorrichtung durch R. Fieß in
Steglitz erfolgt. Die Gründungs- und Maurerarbeiten wurden
von Th. Möbus in Berlin ausgeführt, die eisernen Dächer
und das Schütz der großen Rinne von Hein, Lehmann u. Ko.,
das Zimmerwerk zum Dach von W. Küster, die Heizung von
Körting, die eiserne Versuchsrinne nebst allem Zubehör von
Rössemann und Kühnemann. Die Bauausführung unterstand
der Ministerialbaukommission, die besondere Bauleitung war
dem Wasserbauinspektor Schümann übertragen. Ein Aus-
schuß, bestehend aus Vertretern des Staatssekretärs des
Reichsmarineamts, des Unterrichtsministers, des Ministers
für Landwirtschaft, Domänen und Forsten, des Ministers der
öffentlichen Arbeiten und der Ministerialbaukommission, hat
während der Ausführung die Ausgestaltung des Entwurfs
begutachtet.

Verwaltung und Betrieb.

Verwaltung und Betrieb der Anstalt unterstehen dem
Minister der öffentlichen Arbeiten, der im Einvernehmen mit
den übrigen beteiligten Verwaltungschefs einen Ausschuß zur
Beaufsichtigung der Anstalt eingesetzt und die nachstehende
Geschäftsordnung erlassen hat.

Geschäftsordnung

für die Kommission zur Beaufsichtigung der Versuchsanstalt
für Wasserbau und Schiffbau.

§ 1. Die Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau
auf der Schleuseninsel im Tiergarten ist dazu bestimmt, die
praktische und wissenschaftliche Forschung auf den Gebieten
des Wasserbaues, des Schiffbaues und der Schifffahrt mit Hilfe
von Versuchen zu fördern.

Die Versuchsanstalt ist dem Minister der öffentlichen
Arbeiten unmittelbar unterstellt.

§ 2. Den Arbeitsgebieten entsprechend zerfällt die An-
stalt in zwei Abteilungen,

- a) für Wasserbau,
- b) für Schiffbau.

§ 3. Die Arbeiten der Anstalt erstrecken sich insbesondere:
A. im Gebiete des Wasserbaues

1. auf die Erforschung der Gesetze der Bewegung des
Wassers in offenen Kanälen und geschlossenen Röhren,
auf die Ermittlung der Menge und Geschwindigkeit
des in Rohrleitungen und Kanälen, über Wehre, durch
Schützen, Schleusen, Ventile, Austrittsöffnungen u. dgl. m.
abfließenden Wassers;
2. auf Ermittlung der Staugesetze, auf die Messung der
Geschwindigkeit des fließenden Wassers, die Konstruktion
der dazu dienenden Instrumente, ihre Anwendung und
Eichung;
3. auf die Untersuchung des Einflusses des strömenden
Wassers, auf die Bewegung der Geschiebe, die Ge-
staltung der Sohle und Ufer an Kanälen und Flüssen,
und die Bildung von Anlandungen, des Angriffs des
Wassers auf die Ufer, deren Befestigungen, und auf
sonstige Bau- und Regulierungswerke;
4. auf die Wasserstandsbeobachtungen und die dazu die-
nenden Geräte;
5. auf die Untersuchung der Bewegung des Wassers im
Erdreich, im Mörtel und im Mauerwerk, auf die da-
durch hervorgerufenen Veränderungen im Innern dieser
Körper bezüglich ihrer Festigkeit, Dauer und Stand-
festigkeit;
6. auf die Ermittlung der Widerstände des Wassers gegen
die Bewegung fester Körper, wie Schützen, Schieber,
Ventile, Klappen, Tore u. dergl.;
7. auf die Bestimmung des Wasser- und Erddrucks gegen
Mauern und Wände jeder Art und die Bedingungen
ihrer Standsicherheit;
8. auf die Prüfung des mechanischen und chemischen
Angriffs des Wassers gegen die Baustoffe, ihre An-
striche und sonstigen Schutzmittel;
9. auf die Erforschung der Gesetze der Wellenbildung und
Wellenbewegung.

B. im Gebiete des Schiffbaues und der Schifffahrt auf Modell-
versuche und Untersuchungen

1. zur Bestimmung des Widerstandes des Wassers gegen
die Bewegung der Schiffkörper und der zu ihrer Fortbe-
wegung erforderlichen Kräfte nach Form, Größe und
Oberflächenbeschaffenheit der Schiffe behufs Ermittlung
günstiger Schiffsformen und Konstruktionen;
2. zur Erforschung der Wellenbildung bei der Bewegung
der Schiffkörper und der Lage des Schiffes im Wasser;

3. zur Bestimmung der Schlingerbewegungen der Schiffe;
4. zur Bestimmung der Widerstände der Schiffspropeller und der zu ihrem Antrieb erforderlichen Kräfte.

§ 4. Die Anstalt hat ferner die Bestimmung, dem Unterrichte der Technischen Hochschule zu Berlin im Wasserbau und Schiffbau durch Vorführung von Versuchen und durch Beteiligung der Studierenden an solchen Arbeiten zu dienen.

§ 5. Auf Grund eines zwischen dem Reichsmarineamt und der preußischen Regierung getroffenen Abkommens wird die Versuchsanstalt alljährlich drei Monate lang von der Reichsmarine für ihre Schiffsmodellversuche benutzt werden.

§ 6. Die Einrichtungen, Maschinen und Geräte der Anstalt sind mit der Gebührenordnung im Anhang [der später erscheint] mitgeteilt.

§ 7. Die Aufsicht über die Verwaltung und Tätigkeit der Anstalt führt eine Kommission, bestehend aus Vertretern der preußischen Ministerien der öffentlichen Arbeiten, der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten und für Landwirtschaft, Domänen und Forsten und von seiten des Reichs aus Vertretern des Reichsmarineamts nach Maßgabe der für diese Kommission festgesetzten Geschäftsordnung.

§ 8. Die für den Betrieb angestellten Beamten und Hilfsarbeiter sind:

- der Leiter der Anstalt, zugleich Vorsteher einer der beiden Abteilungen,
- der Vertreter des Leiters, zugleich Vorsteher der andern Abteilung,
- zwei Ingenieure,
- ein technischer Sekretär,
- sowie die erforderlichen Hilfskräfte.

§ 9. Der Leiter und sein Stellvertreter werden vom Minister der öffentlichen Arbeiten auf Vorschlag der Kommission berufen, ebenso der für die Registratur und das Rechnungswesen bestimmte Beamte. Die Ingenieure werden von dem Leiter durch Vertrag, dessen Genehmigung der Kommission vorbehalten ist, verpflichtet, alle übrigen Hilfskräfte vom Leiter selbständig nach Bedarf gegen Kündigung angenommen. Zur Vermehrung der vorgesehenen Zahl bedarf es der Zustimmung der Kommission.

Urlaub der Beamten und Angestellten bis zu drei Tagen erteilt der Leiter, im übrigen der vorgesetzte Minister.

§ 10. Der Leiter verwaltet die Anstalt, leitet ihre Tätigkeit nach Maßgabe der vorliegenden Aufgaben und bringt im besonderen die seiner Abteilung zufallenden Arbeiten zur Ausführung.

Er vertritt die Anstalt im Verkehr mit der Aufsichtskommission, mit anderen Behörden und mit Privaten. Er erstattet die vorgeschriebenen vierteljährlichen und jährlichen Berichte über die Arbeiten der Anstalt und ihre Ergebnisse, er unterzeichnet die ausgefertigten Zeugnisse über stattgehabte Prüfungen, unter Gegenzeichnung des Vorstehers der andern Abteilung für die von dieser ausgeführten Versuche. Der Leiter prüft die eingehenden Rechnungen und weist sie in den Grenzen der durch den Etat oder durch sonstige Überweisungen zur Verfügung gestellten Mittel zur Zahlung an. Er hat die Voranschläge für den Etat zu bearbeiten und rechtzeitig der Kommission vorzulegen.

§ 11. Der Stellvertreter des Leiters bearbeitet als Abteilungsvorsteher die Versuche seiner Abteilung unter eigener

Verantwortlichkeit und unterzeichnet auch die darüber ausgestellten Zeugnisse neben dem Leiter.

§ 12. Alle übrigen Hilfskräfte sind für die Arbeiten beider Abteilungen nach den Anordnungen des Leiters zu verwenden.

Der Sekretär besorgt die Registraturgeschäfte, das Rechnungs- und Schreibwesen, bei größerem Geschäftsumfang mit entsprechender Schreibhilfe.

§ 13. Die Erledigung der Aufträge erfolgt in beiden Abteilungen nach der Reihenfolge des Einganges. Wenn Abweichungen hiervon beabsichtigt werden, ist die Genehmigung der Kommission einzuholen.

Wenn die Ausführung eines Auftrages innerhalb zwei Monaten nach Eingang nicht begonnen werden kann, ist der Kommission Anzeige zu machen.

§ 14. Abgesehen von der vertragsmäßigen Benutzung der Abteilung b) durch die Reichsmarine während dreier Monate jedes Jahres ist jede Behörde und jeder Privatmann berechtigt, die Ausführung von wasserbau- oder schiffbautechnischen Versuchen, sei es für allgemein-wissenschaftliche Zwecke, sei es für eigene besondere Zwecke, in Anregung zu bringen oder in Auftrag zu geben.

Insofern die Anstalt in der Lage ist, die Ausführung zu übernehmen, wird der Arbeitsplan vereinbart und die zu leistende Gebühr entweder nach vorhandenen Tarifen oder auf Grund besonderer Kostenberechnung festgesetzt. Dabei werden auch etwa erforderlich werdende Neubeschaffungen von Geräten, Maschinen, Modellen oder Versuchsstoffen angemessen berücksichtigt.

§ 15. Den Auftraggebenden kann gestattet werden, entweder selbst oder durch einen beglaubigten Vertreter der Ausführung der Versuche beizuwohnen und davon Kenntnis zu nehmen, oder durch einen geeigneten Fachmann die Leitung der Versuche selbst zu übernehmen. Ob und unter welchen Bedingungen dahingehenden Anträgen stattgegeben wird, bestimmt der Leiter, dessen Entscheidung durch die Kommission abgeändert werden kann.

Den Reichs- und Staatsbehörden wird die Beteiligung ihrer Beamten an der Ausführung ihrer Versuche stets eingeräumt.

Die im § 4 erwähnte Benutzung der Anstalt zu Unterrichtszwecken, deren Zeit und Dauer mit dem Vorsteher zu vereinbaren ist, schließt auch in sich die Berechtigung der Lehrer der Hochschule,

a) wissenschaftliche Versuche unter Angabe der erforderlichen Zeit anzumelden und ihre Ausführung selbst zu leiten,

b) die Einrichtungen der Anstalt und die Versuchsarbeiten, soweit es der Betrieb gestattet, den Studierenden vorzuführen. Die Tage und Stunden, die dafür beansprucht werden, sind mit dem Leiter zu vereinbaren.

Auch können einzelne Studierende mit besonderer Genehmigung des Leiters bei den Versuchsarbeiten beschäftigt werden. Freiwillige Hilfsarbeiter können auch sonst von dem Leiter der Anstalt zugelassen werden.

§ 16. In allen hier genannten Fällen ist der Leiter der Anstalt und sein Stellvertreter berechtigt, den Versuchen beizuwohnen und von den Ergebnissen Kenntnis zu nehmen. Die Ausführung darf, wenn die Instrumente der Anstalt

benutzt werden, nur durch das Personal der Anstalt geschehen. Auch ist der Leiter der Versuche für die sachgemäße Behandlung der Einrichtungen, Instrumente usw. verantwortlich.

§ 17. Über die Geheimhaltung der Versuchsergebnisse wird in jedem Falle vorher Vereinbarung getroffen.

Die Beamten werden zur Wahrung des Dienstgeheimnisses verpflichtet.

§ 18. Die Bearbeitung und wissenschaftliche Verwertung der erlangten Versuchsergebnisse steht in erster Linie dem Leiter des Versuchs oder dessen Auftraggeber zu. Sie sind jedoch verpflichtet, Veröffentlichungen darüber zunächst in den amtlichen Mitteilungen der Anstalt erscheinen zu lassen, sofern die Leitung hiervon Gebrauch machen will, oder zu diesem Zwecke ihre Versuchsergebnisse zur Verfügung zu stellen.

§ 19. Die amtlichen Mitteilungen bringen die in der Anstalt erzielten Versuchsergebnisse und darauf begründete wissenschaftliche Arbeiten aus der Feder der Anstaltsbeamten, der Hochschullehrer oder anderer Mitarbeiter in zwanglosen Heften, deren Herausgabe durch die Anstalt erfolgt, zur allgemeinen Kenntnis.

§ 20. Die Beamten und Hilfsarbeiter der Anstalt dürfen Mitteilungen über amtlich gewonnene Erfahrungen, darauf beruhende Forschungen oder dergl. weder durch Druckschriften noch durch Vorträge ohne Genehmigung des Leiters veröffentlichen.

Die Fürsorge für die bauliche Unterhaltung der Anstalt liegt dem Vorsteher der Abteilung a, die für Unterhaltung und Betrieb aller maschinellen Einrichtungen und der Werkstatt dem Vorsteher der Abteilung b) ob.

§ 21. Für den schriftlichen Verkehr führt die Anstalt Dienststempel und Dienstsiegel.

Berlin, den 16. April 1903.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.
Budde.

Die vorstehende Geschäftsordnung enthält auch die Zusammenstellung der Aufgaben, die zunächst das Arbeitsgebiet der Anstalt bilden sollen, und hat in Verbindung mit der gleichzeitig erlassenen Dienstordnung bisher den Betrieb der Anstalt in zufriedenstellender Weise geregelt.

Ein bestimmter Gebührentarif ist bisher nur für die Flügeleichungen erlassen, von denen die Eichung jeder Schraube 50 *M* kostet. Alle übrigen für Private ausgeführten Arbeiten werden unter Zugrundelegung von vorläufig bestimmten Einheitssätzen für Material, Arbeitsleistungen usw. nach Art und Umfang der Leistung und auf Grund vorangegangener Vereinbarung in Rechnung gestellt.

Die Tätigkeit der Anstalt seit ihrer Inbetriebnahme im Herbst 1903 umfaßt außer der Einrichtung und Erprobung sämtlicher Apparate im wesentlichen folgende Arbeiten:

a) im Wasserbau

1. Die Eichung von etwa 200 hydrometrischen Flügeln.
2. Versuche zur Bestimmung geeigneter Normalprofile für die Weser.
3. Versuche betreffend die Bewegung von Weichselgeschieben durch strömendes Wasser.
4. Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Stärke und Länge der Flügelstangen und der Tieflage der Flügel auf die Umdrehungszahl.

5. Versuche zur Bestimmung der Form einer Uferdeckung an der Ostsee.

6. Versuche zur Ermittlung der geeigneten Anordnung der Molen für die neue Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven.

7. Versuche über Strahlbildung bei Ausfluß aus Boden- und Wandöffnungen.

b) im Schiffbau

1. Herstellung von etwa 90 Schiffsmodellen und Bestimmung ihrer Widerstände.

2. Versuche zur Prüfung der Froudeschen Formeln.

Der folgende Teil der Abhandlung enthält die Beschreibung der Geräte und Einrichtungen der Wasserbauabteilung sowie Mitteilungen über die Ergebnisse ihrer Arbeiten vom Regierungs-Baumeister Seifert; der dritte Teil die nähere Beschreibung der Geräte und Arbeitsverfahren der Schiffbauabteilung vom Marine-Schiffbaumeister Dix.

Die Geräte und Einrichtungen für die Versuche der Wasserbauabteilung.

Für Aufgaben, die den beiden Abteilungen obliegen, werden jeweilig auch besondere Einrichtungen, Meßgeräte und dergleichen herzustellen sein. Die für den Wasserbau zunächst in Angriff genommenen Arbeiten erstrecken sich hauptsächlich auf das Gebiet des Flußbaues und insbesondere auf die Geschiebebewegung; die hierfür beschafften Geräte sollen dazu dienen, auf möglichst einfachem Wege ein Flußbett in angemessener Verkleinerung darzustellen und in veränderlichem Gefälle die entsprechenden genau zu bemessenden Wassermengen hindurchzuführen, die entstehende Bewegung der Geschiebe, die dabei stattfindende Ausbildung des Flußbettes, die Wirkung von Einbauten und dergleichen zu beobachten und festzustellen.

Eiserne Rinne. Hierzu gehört in erster Linie die schon erwähnte sogenannte „kleine Rinne“ (Text-Abb. 7),

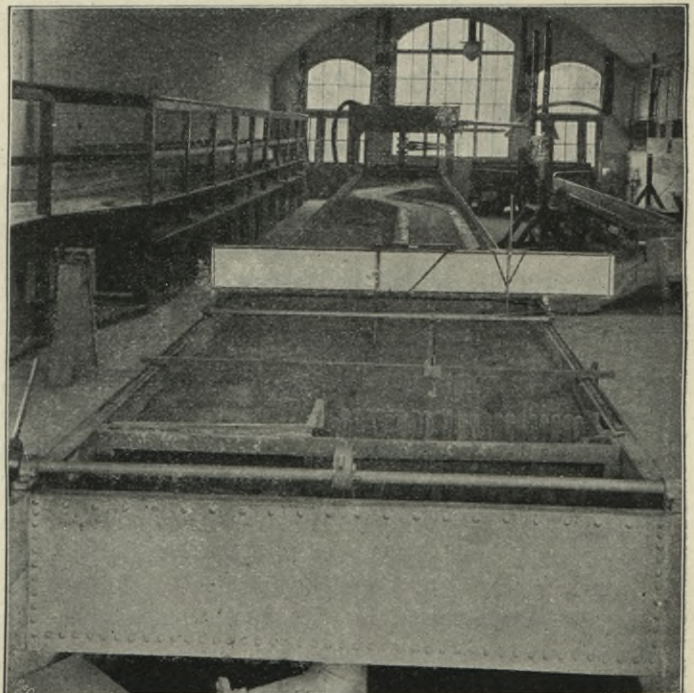


Abb. 7. Gesamtansicht der eisernen Rinne.

etwa 20 m lang, 2 m breit, 0,30 m tief; sie ist aus zwei seitlichen Blechträgern hergestellt, deren obere Teile zugleich die Seitenwände der Rinne bilden und die als doppelarmige Kragträger von 12,20 m Stützweite und 0,90 m größter Höhe reichlich stark gebaut sind, um merkliche Durchbiegungen zu vermeiden. In einer Vertiefung am unteren Ende der Rinne stehen offene Kästen als Sandfänge (Abb. 2 Bl. 2), die sich jedoch in der gewählten Anordnung nicht bewährt haben. Das Gefälle der Rinne ist von der Wagerechten bis zur Neigung 1:50 dadurch verstellbar, daß beide Lager in Gelenken liegen; das obere ist fest, das untere auf Schraubenspindeln senkrecht beweglich. Der Antrieb geschieht durch eine Schnecke und zwei Kettenräder von einem seitwärts stehenden Windebock aus und erfolgt auch bei mit Sand gefüllter Rinne durch einen Mann. Am unteren Ende unterhalb der Sandfänge liegen zwei durch Ventile verschließbare Abflußöffnungen, von denen die eine in das Eichgefäß, die andere in das untere Betonbecken führt. Um das Geräusch des fallenden Wassers zu mindern, sind Abfallröhren angebracht. Zur Aufnahme der in der Rinne ausgebildeten Flußbettmodelle und dergleichen dient der weiter unten beschriebene Profilverzeichner. Zu seiner Führung sind auf den oberen Gurtwinkeln der Hauptträger gehobelte Schienen aus \perp -Eisen N. Pr. Nr. 3 $\frac{1}{2}$ angebracht. Sie können mit Hilfe von Zug- und Druckschrauben, die in Abständen von 1 m angeordnet sind, nach jeder Richtung genau geradlinig ausgerichtet werden und tragen eine Dezimeterteilung. So bilden sie die Grundlinie für Höhen-, Längs- und Queraufnahme (Abb. 7 und Bl. 2) des in der Rinne befindlichen Modellbettes.

Betonrinne. Unter der eisernen Rinne liegt, wie erwähnt, die etwa 22 m lange, 2,20 m breite Betonrinne 1,20 m tief in den Fußboden eingelassen; sie dient in erster Linie als Speicher und Rücklauf für das Betriebswasser der eisernen Rinne und als Besichtigungsgrube für diese, kann aber auch zu Durchflußversuchen mit strömendem Wasser aus dem Landwehrkanal benutzt werden.

Einrichtungen für den Wasserumlauf. Zur erstmaligen Füllung der Betonrinne wird das Wasser aus dem Brunnen entnommen. Im gewöhnlichen Betriebe macht es dann ständig einen Kreislauf: eine Kreiselpumpe saugt es aus dem Betonbecken an, drückt es durch zwei als Steigrohre ausgebildete Säulen in einen über dem Kopfende der eisernen Rinne befindlichen eisernen Behälter (Text-Abb. 8 und Abb. 1 u. 2 Bl. 2), aus diesem fließt das zum Versuch bestimmte Wasser durch ein Abfallrohr mit Schieberverschluß und ein durchlöcherteres Verteilungsrohr in den unteren eisernen Behälter, von dort über 3,90 m lange Überfallkanten in die Versuchsrinne; durch das Abflußventil am unteren Ende wird es dem versenkten Betonbecken wieder zugeführt. Der von der Pumpe stets zu fördernde Überschuß läuft über die 11,50 m langen Überfallkanten des oberen Kastens durch die beiden anderen Tragsäulen in die Betonrinne zurück. Die Einrichtungen der beiden Zuflußbehälter bezwecken, daß innerhalb der Grenzen von 0 bis 50 l/Sek. eine beliebige, genau bemessene unveränderliche Wassermenge der Rinne zugeführt werden kann, unabhängig von den Schwankungen im Gange der Pumpe. Durch die reichliche Ausdehnung der Überlaufkanten oben und unten sind die Schwankungen des oberen und unteren Wasserspiegels in den engsten Grenzen

gehalten. Dies ist notwendig, um die Druckhöhe, unter der der Schieber arbeitet, und damit die Durchflußmenge bei bestimmter Schieberstellung möglichst gleichbleibend zu erhalten.

In der Tat hat sich durch Versuche ergeben, daß die Schwankungen der Druckhöhe, welche höchstens 2 cm ausmachen, keinen merklichen Einfluß auf die Wassermenge haben. Rechnungsmäßig beträgt die Durchflußgeschwindigkeit im Schieberrohr $v = \mu \cdot \sqrt{2g \cdot h}$. Der Höhenunterschied der beiden Wasserspiegel oder die Druckhöhe ist im Mittel = 1,50 m und daher $v = \mu \sqrt{2g} \sqrt{1,50}$ bis $v = \mu \sqrt{2g} \sqrt{1,52}$ oder $v = \mu \sqrt{2g} \cdot 1,2247$ bis $v = \mu \sqrt{2g} \cdot 1,2328$; der größte Unterschied beträgt demnach ungefähr 0,8 %.

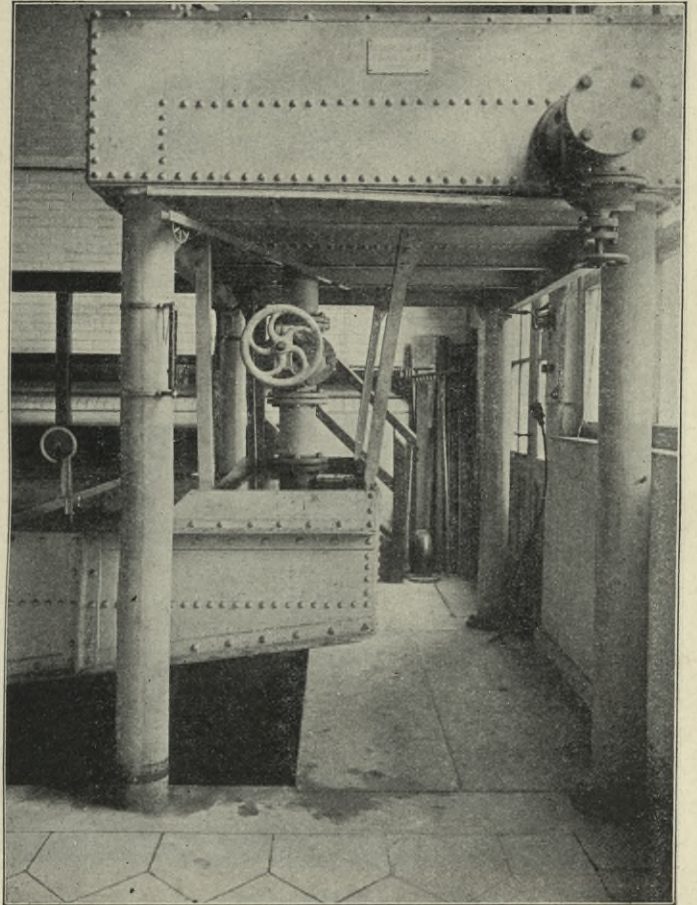


Abb. 8. Zuflußbecken.

Um die Schwankungen im Spiegel oben und unten jederzeit beobachten und nötigenfalls berücksichtigen zu können, ist ein Doppelschwimmerpegel angebracht (Abb. 4 Bl. 2), welcher in dreifach vergrößertem Maßstab die Änderungen des oberen und des unteren Spiegels und als Unterschied beider die der Druckhöhe selbst abzulesen gestattet.

Die Pumpe. Die elektrisch betriebene Kreiselpumpe ist in dem benachbarten Stadtbahnbogen aufgestellt, kann jedoch vom Raum der kleinen Rinne aus eingeschaltet und geregelt werden. Sie hat 14 cm lichte Rohrweite. Der Antriebsmotor ist 67 Amp bei 110 V oder 10 Pferde stark, die Höchstleistung beträgt reichlich 50 l/Sek.; zur Verminderung des Kraftbedarfs kann die Leistung durch elektrische Regelung und durch Drosselung an den Schiebern der Pumpe auf etwa 35 Amp herabgesetzt werden. Beim Pumpen aus dem Brunnen sinkt wegen der größeren Hubhöhe die Förderung

auf etwa $\frac{2}{3}$ der beim Kreislauf vorhandenen. Die Rohrleitungen verbinden die große Pumpe nicht nur mit dem Grundwasserbrunnen, dem oberen Zuflußbehälter und der Betonrinne, sondern auch mit der großen Rinne, so daß auch diese durch die Pumpe entleert oder gefüllt werden kann. Da für viele Versuche kleinere Wassermengen ausreichen, die von der Kreiselpumpe nur durch Einschaltung von Widerständen und unter Energieverlust geleistet werden, ist eine Hilfspumpe mit 15 l/Sek. Leistung nachträglich im Raume der kleinen Rinne versetzbar aufgestellt worden.

Der Zuflußschieber und das Eichgefäß. Wie oben erwähnt, dient der Schieber im Abfallrohr zwischen dem oberen und unteren Zulaufkasten nicht nur zur Regelung, sondern

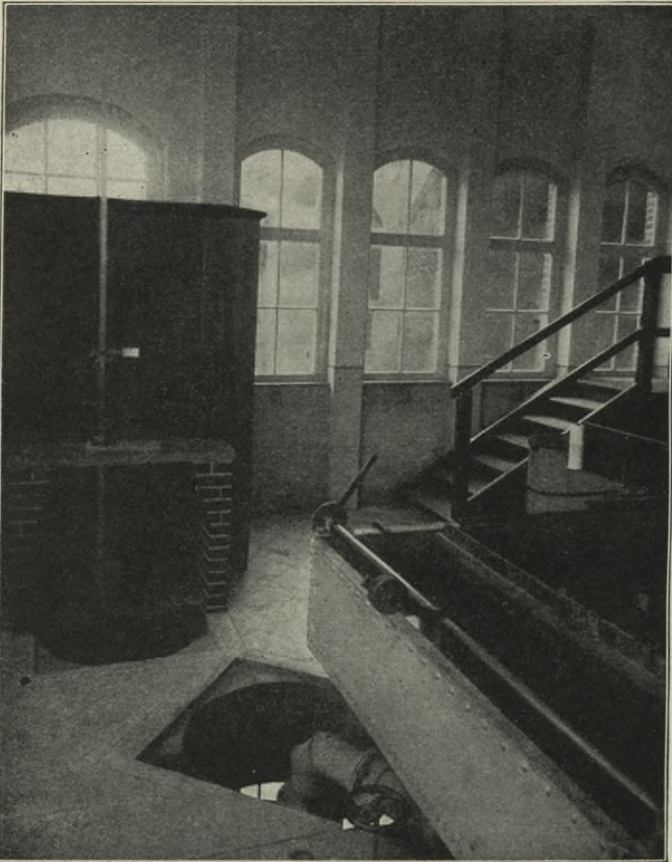


Abb. 9. Eichgefäß.

auch zur Messung des zufließenden Wassers. Er ist zu diesem Zweck mit einem Zeiger versehen, welcher die Bewegung des Schiebers in dreifach vergrößertem Maßstab an einer Millimeterteilung angibt. Durch Versuche wurde die bei jeder Stellung des Schieberzeigers von cm zu cm sekundlich durchfließende Wassermenge festgestellt.

Zur Messung dieser Wassermengen dient das am unteren Ende der Rinne befindliche Eichgefäß (Text-Abb. 9 und Abb. 5 u. 6 Bl. 2); es besteht aus zwei in den Fußboden eingelassenen nebeneinanderstehenden Betonzylindern von 0,90 m Durchmesser, 2 m Tiefe und etwa 2 cbm Inhalt, die am Fußende miteinander verbunden sind; ein Schwimmer mit einem in Führung laufenden senkrechten Stab (Abb. 5 Bl. 2) mit Millimeterteilung gestattet mit Hilfe eines Nonius die Ablesung der Wasserspiegellhöhe auf $\frac{1}{10}$ mm entsprechend 0,126 l Rauminhalt. Zur Feststellung dieses Verhältnisses wurden Wassermengen von 10 kg eingegossen und so der Rauminhalt

des Gefäßes stückweise ermittelt. Das Gefäß wird durch einen an der Sohle befindlichen Schieber nach dem Unterwasser des Landwehrkanals entleert. Die Eichung des Schiebers im Zuflußrohr der Rinne erfolgte schrittweise vom geschlossenen Schieber beginnend. Er wurde mit bestimmter Geschwindigkeit des Zeigers, gewöhnlich 1 cm in 1 Sek., geöffnet, blieb dann möglichst lange in einer bestimmten Lage, bis das durchgeflossene Wasser die eiserne Rinne und das Eichgefäß gefüllt hatte, und wurde zuletzt mit gleicher Geschwindigkeit wieder geschlossen. Das Wasser (etwa 8 cbm) wurde dann im Eichgefäß gemessen und daraus die jeweilige sekundliche Durchflußmenge für den betreffenden Stand des Schiebers ermittelt. Sie ergibt sich nach der Formel zu:

$$y_n = \frac{F - 2(y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1})}{t_b + 1} = \text{näherungsweise } \frac{F}{t_a + t_b}$$

wobei y_1, y_2, \dots, y_{n-1} aus den vorhergehenden Eichungen bekannt ist (Text-Abb. 10). F ist die Gesamtwassermenge,

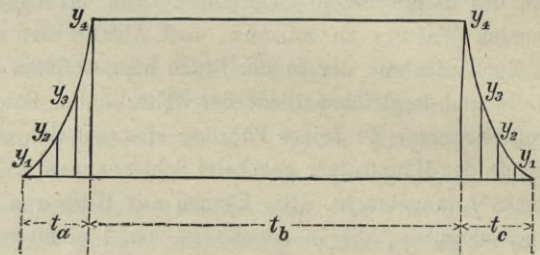


Abb. 10. Durchflußdiagramm.

t_b die Anzahl der Sekunden, während welcher der Schieber offen stand, t_a und t_c die Anzahl der Sekunden des Öffnens und Schließens. Der aus geradlinig angenommenem Durchflußdiagramm berechnete Näherungswert für y_n ist bis 1 v.H. abweichend. Für die verschiedenen Schieberstellungen ergibt sich eine doppelt gekrümmte Kurve (Text-Abb. 11).

Wassermenge l/Sec.
5 cm = 30 l.

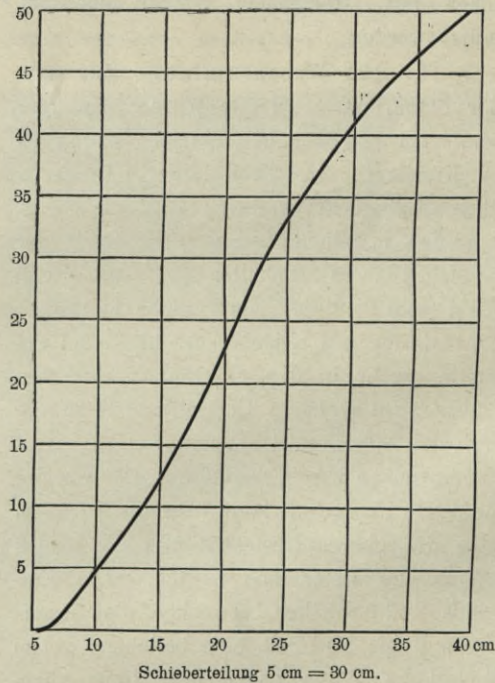


Abb. 11. Eichung des Zuflußschiebers der kleinen Rinne.

Gefällmessung. Während zur Regelung des Rinnengefäßes die Hubvorrichtung am unteren Lager und zur Regelung des Spiegelgefäßes das Abflußventil in Verbindung mit einem nach Erfordernis eingebauten nadelwehrartigen Abschluß dient, kann die Messung des Gefäßes auf verschiedene Arten bewirkt werden. Das im allgemeinen seltener zu verstellende Rinnengefälle wird

am sichersten und bequemsten durch Einmessen der auf der Rinnenkante liegenden gehobelten Schienen in bezug

auf einen ruhenden Wasserspiegel bestimmt. Hierdurch kann auch die genaue Höhenlage der Schienen an allen Stellen geprüft werden. Die Messung geschieht mit Hilfe einer Nadel mit eintauchender oder besser mit auftauchender Spitze, welche auf dem weiter unten beschriebenen Profilzeichner angebracht ist (Abb. 8 u. 9 Bl. 2). Auch einzelne Punkte der Flußsohle und der Bauwerke können mit dieser Nadel genauestens gemessen werden. So kann das Sohlgefälle bestimmt werden; bei ebener Sohle ist dazu auch eine Schlauchwaage verwandt worden. Das Spiegelgefälle des strömenden Wassers wird gewöhnlich gleichfalls von den Schienen aus mittels der Nadel eingewogen. Zu demselben Zwecke werden auch zwei Wasserstandsanzeiger am oberen und unteren Ende der Rinnen benutzt (Text-Abb. 12 und Abb. 11 Bl. 2). Sie bestehen aus je einem Glasschwimmer, der so weit mit Schrot beschwert ist, daß er von kleinen Kräuselwellen nicht bewegt wird, und durch Gegengewichte

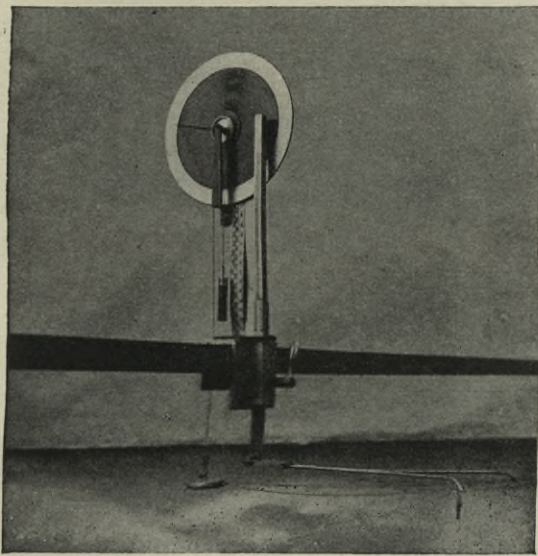


Abb. 12. Wasserstandsanzeiger.

so ausgeglichen ist, daß er nicht eintaucht, sondern nur durch Adhäsion auf der Wasseroberfläche gehalten wird. Bei Änderung des Wasserstandes setzt der Schwimmer mittels eines Fadens eine Rolle mit Zeiger vor einem Teilkreis in Bewegung; die Spiegelschwankung wird fünfmal vergrößert auf dem Teilkreis angegeben. Damit der Schwimmer vom strömenden Wasser nicht abgetrieben wird, wird er durch zwei wagerechte stromaufwärts befestigte Fäden gehalten.

Schließlich kann zur Gefällmessung auch der nachstehend beschriebene Geschwindigkeitsmesser benutzt werden, da er Druckhöhen-Unterschiede angibt; er hat vier Standrohre für die Messung an vier Punkten erhalten.

Geschwindigkeitsmesser. Die Schwierigkeit, geringe Wassergeschwindigkeiten an bestimmten Punkten sehr kleiner Querschnitte genau und schnell zu messen, ist nicht gering. Hydrometrische Flügel können in so kleinen Abmessungen nicht hergestellt werden. Mit Oberflächenschwimmern ergibt sich das Mittel über eine längere Strecke ziemlich genau, mit Tiefenschwimmern aber kann in so kleinen Verhältnissen wie bei Flußmodellen nicht gearbeitet werden. Für die Messung von Sohlgeschwindigkeiten können Öltröpfchen benutzt werden, die ein wenig schwerer sind als Wasser und, ohne die Sohle

zu benetzen, auf dieser entlang treiben. Auch Bernstein- oder Kohlenstückchen wurden dazu benutzt. Sie geben natürlich nicht gerade genau die Wassergeschwindigkeit an, können aber wenigstens brauchbare Vergleichswerte liefern; die Sohle muß freilich durchaus eben sein; bei Riffeln oder rauhem kiesigem Grunde usw. bleiben die Tropfen an geschützten Stellen liegen. Für alle Tiefen zwischen Spiegel und Sohle eignet sich die Pitotsche Röhre, welche die Geschwindigkeit durch den ausgeübten Stoß oder die Druckhöhe zu messen gestattet. Bei größeren Geschwindigkeiten ist sie ohne weiteres verwendbar, bei geringen werden die Unterschiede zwischen der hydrostatischen und der hydrodynamischen Druckhöhe so klein, z. B. bei $v = 0,1$ m/Sek. $h = \frac{v^2}{2g} = 0,5$ mm, daß genaue Ablesungen sehr erschwert sind. Zur Vergrößerung des Druckhöhenunterschiedes dient ein von Professor M. Möller vorgeschlagenes Verfahren (vgl. Zeitschr. f. Gewässerk. Bd. V Heft 2). Bringt man über das Wasser in den beiden zur Ablesung dienenden Röhren ein Öl, welches leichter ist als Wasser ($\gamma_{\text{ö}} < 1,0 = \gamma_{\text{w}}$), und setzt die beiden Ölsäulen miteinander in Verbindung, so tritt ein Fließen in den Röhren ein, und die Entfernung der Grenzschichten zwischen Wasser und Öl nimmt so lange zu, bis der hydrodynamische Druck d und das Gewicht der Wassersäule D dem hydrostatischen Druck und dem Gewicht der Ölsäule von gleicher Länge D das Gleichgewicht halten.

$$D \cdot \gamma_{\text{w}} = D \gamma_{\text{ö}} + d \cdot \gamma_{\text{w}}$$

$$\text{oder } D = \frac{d \cdot \gamma_{\text{w}}}{\gamma_{\text{w}} - \gamma_{\text{ö}}} = d \cdot \frac{1}{1 - \gamma_{\text{ö}}}$$

Unterscheidet sich das Öl in seinem Einheitsgewicht wenig von der Einheit, so wird die Vergrößerung beträchtlich. Allerdings braucht dann der Apparat auch lange Zeit, um sich richtig einzustellen, und die Flüssigkeiten mischen sich leicht. Wird das Ölgefäß oben luftdicht geschlossen, so können die Ablesungen in bequemer Höhe erfolgen und der Flüssigkeitsspiegel ist vor jähen Schwankungen, die immer eine Mischung der Flüssigkeiten mit sich bringen, geschützt. — In dem hiernach hergestellten Meßgerät wurde nach verschiedenen

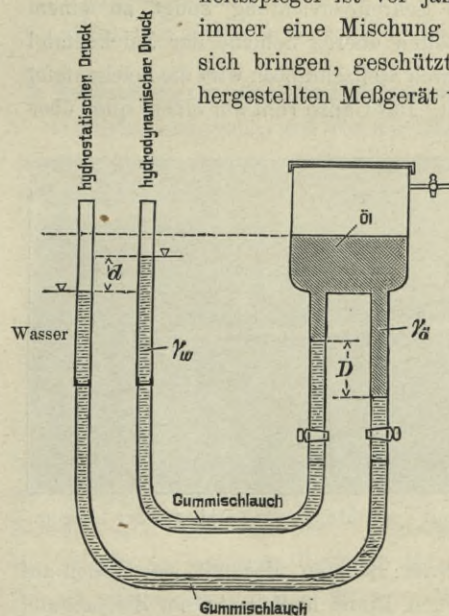


Abb. 13. Geschwindigkeitsmesser.

verschiedenen Versuchen Paraffinöl oder Petroleum verwendet, da diese genügende Vergrößerung (acht- bis vierfach) ergeben und nicht die störende Eigenschaft vieler anderer Öle aufweisen, am Glase stark haften zu bleiben, wodurch die scharfe Ablesung an den Kuppen der Ölsäulen sehr erschwert wird. Das Einheitsgewicht wird mit dem Aräometer bestimmt. Zwischen der Pitotschen Röhre und dem Meßgerät werden zwei lange weite Gummischläuche eingeschaltet, die vermöge ihrer Elastizität die Pulsationen

des Wassers aufnehmen. Das Gerät wurde durch Eichung im stehenden Wasser unmittelbar geprüft; es ergab sich, daß das Rohr für den statischen Druck eine je nach der Form verschieden starke Saugwirkung erfährt, denn der Druckhöhenunterschied ist größer, als er nach dem Einheitsgewicht sein soll (Text-Abb. 13 u. 14).

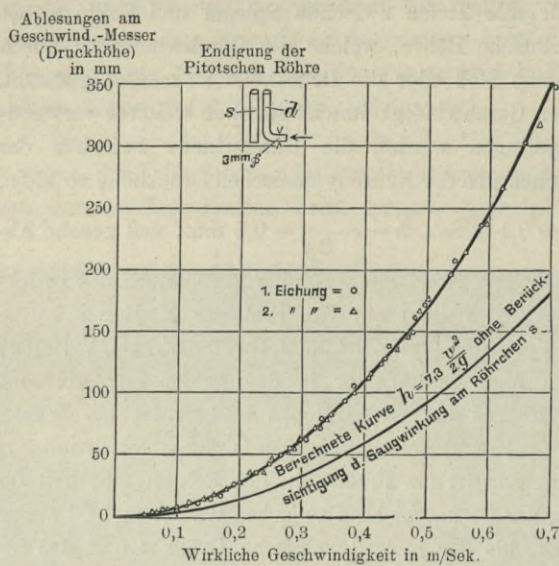


Abb. 14. Eichung des Geschwindigkeitsmessers für Paraffinöl.

Profilzeichner. Zur Einmessung von Modellquerschnitten dient der Profilzeichner (Text-Abb. 7 und Abb. 7 u. 8 Bl. 2). Er besteht aus einer kleinen Rolle (*a*), die über die Flußsohle läuft und auf ihrer Achse einen lotrecht geführten Stab (*b*) trägt. Die am oberen Ende des Stabes befestigte Schreibfeder (*c*) verzeichnet den Querschnitt auf einem auf die Tafel (*d*) gespannten Blatt Zeichenpapier. Das Gewicht des Stabes ist so ausgeglichen, daß die Rolle nur mit geringem Druck auf der Sohle ruht. Mit dem in bestimmter Lage festgestellten Schreibstab kann auf dem Zeichenblatt eine Wagerechte gezogen werden, die als Grundlinie für Messungen dient. Die Schreibvorrichtung hängt an einem kleinen, auf der gehobelten oberen Schiene der Zeichentafel rollenden Wagen (*e*). Durch Stellschrauben wird die Zeichentafel genau wagerecht gestellt. Das Ganze ruht auf einem quer über

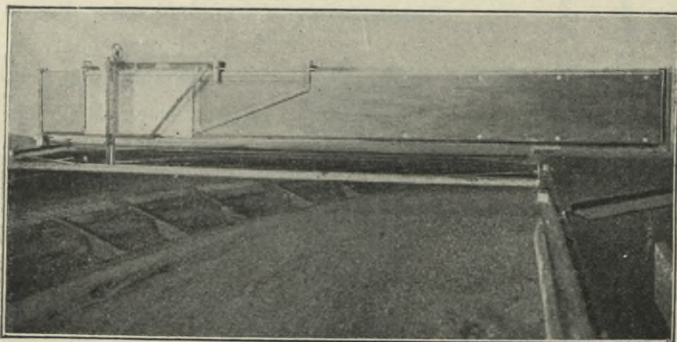


Abb. 15. Profilzeichner mit Vorrichtung zum Verkürzen der Längen.

die Rinne gelegten eisernen Rahmen, der mit vier Rollen auf den Schienen der eisernen Rinne läuft.³⁾ An der Zeichentafel

³⁾ Nachträglich ist die Zeichentafel um eine lotrechte Achse drehbar eingerichtet worden, um in Flußkrümmungen senkrecht zum Stromstrich Querschnitte aufnehmen zu können. Da die unverzerrt gezeichneten Querschnitte unhandlich und unübersichtlich sind, ist ferner eine Vorrichtung angebracht, welche die Längen in 1:10 oder 1:5 verkürzt, die Tiefen aber unverkürzt aufzeichnet (Text-Abb. 15).

ist auch die vorerwähnte Meßnadel zum Einmessen einzelner Punkte des Querschnittes und des Wasserstandes angebracht. Durch ein Reibungsrädchen oder Zahntrieb kann sie leicht fein eingestellt werden.

Siebe und Siebmaschine. Zur Bestimmung der Korngröße von Geschiebepробen aus Flüssen und des zu den Modellversuchen benutzten Sandes werden Drahtsiebe von verschiedener Maschenweite und für die größeren Öffnungen Bleche mit gebohrten Löchern verwandt. Um größere Mengen von Sand von bestimmter Korngröße herzustellen, wird eine

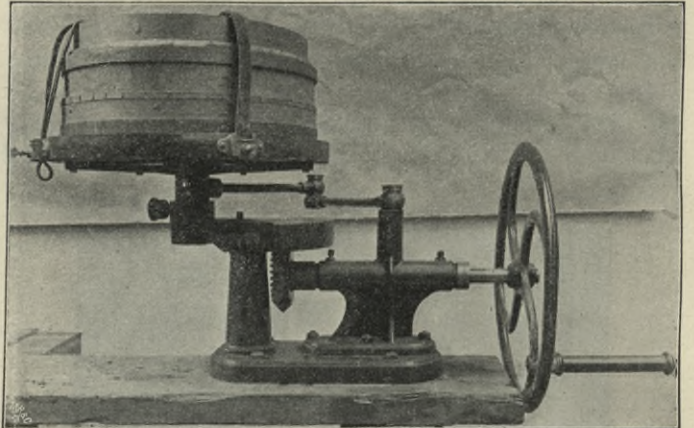


Abb. 16. Siebmaschine.

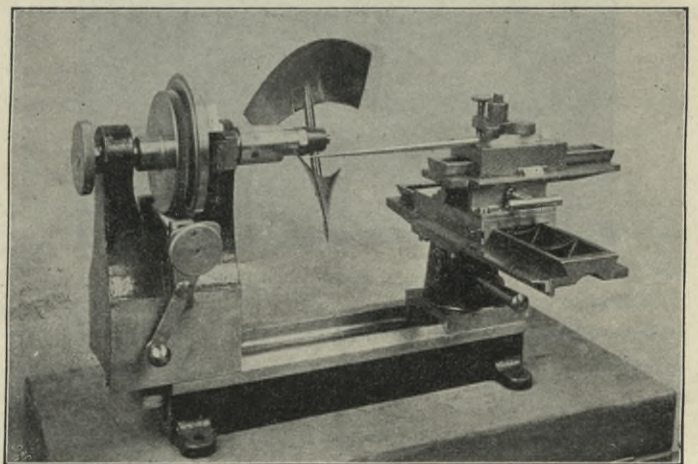


Abb. 17. Schraubenaufmeßvorrichtung.

Siebmaschine, bestehend aus einer Schleudertrommel, die durch Handrad und Vorgelege mit Lenkstangen betrieben wird, benutzt (Text-Abb. 16).

Flügeleichung. Die hydrometrischen Geräte, hauptsächlich Woltmannsche Flügel, werden mit Hilfe des Schlepptwagens in der großen Rinne geeicht. Zu diesem Zweck sind an dem hintern Querträger des Wagens eiserne Klemmen befestigt, in denen die Führungsstangen der Flügel mit zwei Schraubzwingen festgehalten werden. Zur Befestigung von Schwimmflügeln, an wagerechter Stange u. dergl., werden besondere Einrichtungen nach Bedarf getroffen. Zur Aufmessung der Schrauben dient die in Text-Abb. 17 dargestellte Vorrichtung.

Für jede Flügeleichung werden gewöhnlich 30 bis 40 Fahrten von etwa 0,05 m/Sek. bis 4 m/Sek. Geschwindig-

keit gemacht. Auf der Schreibwalze werden durch elektrische Übertragung gleichzeitig verzeichnet: 1. die Zahl der Flügelumdrehungen, 2. der vom Wagen zurückgelegte Weg von 5 zu 5 m, 3. die Zeit in Sekunden.

Die Meßlänge jeder Fahrt beträgt in der Regel 50 m, bei ganz langsamen Fahrten weniger, bis zu 15 m herab. Von der Anlaufgeschwindigkeit bis gegen 0,50 m/Sek. wächst meistens die Zahl der Umdrehungen für die Wegeinheit und bleibt dann bei guten Flügeln fast unveränderlich. Demgemäß wird die Kurve der Umdrehungszahlen aus den Beobachtungsergebnissen in zwei Teilen berechnet, von denen der erste Teil bis etwa 0,50 m Geschwindigkeit eine Parabel, der übrige Teil eine Gerade bildet. Gewisse Abweichungen von diesem Verhalten, welche durch den Einfluß der Stange, ihrer Durchbiegung und Schwingungen, der Tiefenlage des Flügels, der Kanalwandungen u. dergl. hervorgerufen werden, sind z. T. untersucht und werden demnächst in der Fortsetzung behandelt werden.

Die Festwerte der Flügelgleichungen und die mittleren Fehler werden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Jedes Prüfungszeugnis enthält die Eichungsergebnisse, die danach berechneten Gleichungen und mittleren Fehler, sowie die maßstäblich aufgezeichneten Beobachtungsergebnisse nebst der danach berechneten Kurve.

Den Gang der Konstantenberechnung zeigen die nachstehenden Gleichungen.

Die Bedeutung der Buchstaben ist

v = beobachtete sekundliche Geschwindigkeit in m/Sek.,

n = sekundliche Umdrehungszahl.

m = Anzahl der Fahrten einer Eichung,

a, b, c = Festwerte,

v' = berechnete Geschwindigkeit,

$f = v - v'$ = Abweichung oder scheinbarer Beobachtungsfehler der einzelnen Fahrt,

M = mittlerer Fehler einer Beobachtung.

Für das als Parabel berechnete Stück gelten die Beziehungen

$$v' = a + bn + c \cdot n^2,$$

$$M = \sqrt{\frac{\sum (f)^2}{m-3}},$$

wobei die Festwerte a, b und c aus den drei Gleichungen

$$\text{I. } \sum (-v) + a \cdot m + b \cdot \sum (n) + c \sum (n^2) = 0,$$

$$\text{II. } \sum (-vn) + a \sum (n) + b \sum (n^2) + c \sum (n^3) = 0,$$

$$\text{III. } \sum (-vn^2) + a \sum (n^2) + b \sum (n^3) + c \sum (n^4) = 0$$

gefunden werden.

Für die gerade Linie gilt

$$v' = a + bn,$$

$$M = \sqrt{\frac{\sum (f)^2}{m-2}},$$

wobei a und b aus den beiden Gleichungen

$$\text{I. } \sum (-v) + \sum (a) + \sum (bn) = 0,$$

$$\text{II. } \sum (-nv) + \sum (an) + \sum (bn^2) = 0$$

berechnet werden.

Durch eingehende Versuche ist festgestellt worden, daß in dem breiten Wasserquerschnitt zwei im Abstände von 3,50 m voneinander am Wagen in gleicher Linie befestigte Flügel mit gleichen Umdrehungszahlen arbeiten, wie jeder einzelne in der Mitte befestigte. Infolgedessen werden gewöhnlich zwei Flügel gleichzeitig geeicht und damit Kosten und Zeit gespart.

Versuche über die Betausbildung der Weserstrecke von km 303 bis 306.

1. Veranlassung und Zweck der Versuche.

Die ersten Versuche der Anstalt auf dem Gebiete des angewandten Flußbaues bezogen sich auf die Ausbildung des Flußbettes der Weser. Auf Anordnung des Ministers der öffentlichen Arbeiten wurde eine größere Reihe von Modellversuchen zur Gewinnung von Unterlagen für die Bemessung des Normalquerschnitts der mittleren Weser zwischen Hameln und der Allermündung vorgenommen. Da bei diesen ersten Versuchen die Art und Weise der Anordnung, der Beobachtung und der Auswertung der Ergebnisse auszubilden war, so bieten sie weitergehendes Interesse und sollen nachstehend etwas ausführlicher behandelt werden. Die auf diesem Gebiete vorausgegangenen Versuche von Fargue⁴⁾ und von Engels⁵⁾ bezogen sich zunächst mehr auf allgemeine Fragen des Verhaltens von Flüssen mit beweglichen Sandbetten. Im vorliegenden Falle ist mit Erfolg versucht worden, eine bestimmte Flußstrecke im Modell nachzuahmen, um ihre Ausbildung zu beobachten, sie mit der Wirklichkeit zu vergleichen und die Ergebnisse für die Baupraxis zu verwerten. Die Anregung zu diesen Versuchen ging vom Geheimen Oberbaurat Dr.-Ing. Sympher aus, die Unterlagen hierfür waren von der Weserstrombauverwaltung durch sehr sorgfältige Aufnahmen der Flußstrecke nach Querschnitten, Spiegelgefälllinien verschiedener Wasserstände und Wassermengen vorbereitet. Nach den von der Weserstrombauverwaltung aufgestellten Fragen war zu erproben:

1. ob und in welchem Maße die in den Krümmungen vielfach zu schmale, aber übermäßig tiefe Fahrrinne entweder durch Einbau von Grundswellen oder durch Abflachung der steilen, 1:1 geböschten Uferschutzwerke verbreitert werden könnte;
2. welche Bühnenform und Spiegelbreite die günstigsten Fahrwasserverhältnisse auf den zwischen zwei entgegengesetzten Krümmungen liegenden zu flachen Übergängen ergibt.

Dies war das allgemeine Ziel der Versuche.

2. Beschreibung der zum ersten Modellversuch gewählten Flußstrecke.

Für die erste Reihe war von der Weserstrombauverwaltung die Strecke km 303 bis 306 ausgewählt worden. Diese wies früher einen schlechten Übergang von bezeichnender Art auf

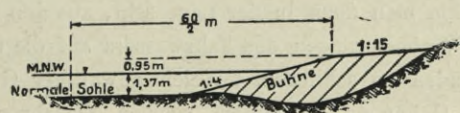


Abb. 18. Beim Ausbau benutzte Bühnenform.

(Abb. 1 Bl. 3), der in den Jahren 1898 und 1899 durch Ausbau mit 14 Bühnen nach vorstehendem Schnitt (Text-Abb. 18) mit günstigem Erfolge reguliert worden ist (Abb. 2 Bl. 3). Näheres über das Maß der Verbesserung siehe Seite 23. Die Strecke in weiterem Umfange hatte und hat auch jetzt, wie die Weser bis zur Allermündung überhaupt, sehr beharrliche Tiefenverhältnisse, die Peilpläne der einzelnen Jahre gleichen sich in hohem Maße; Übergänge und Kolke finden

4) Annales des ponts et chaussées 1894. 1 Sem. S. 426.

5) Zeitschrift für Bauwesen. Jahrg. 1900, S. 343.

sich stets an den nämlichen Stellen wieder, die Fahrinne verlegt sich nie, auch die Tiefen bleiben fast unverändert; da, wo sie durch Baggerung gestört werden, stellt sich nach Verlauf des Hochwassers die natürliche Sohle wieder her; z. B. legte sich vor dem Ausbau des Überganges bei km 304 die Schwelle stets von neuem an, so daß sie alljährlich weggebaggert werden mußte. Der Fluß befindet sich also hinsichtlich seiner Geschiebeführung, wenigstens für kürzere Zeitabschnitte, im Gleichgewicht und ist durch seine Grundrißgestalt bei den vorhandenen Wassermengen, Gefälle- und Geschiebeverhältnissen in seinen Tiefenverhältnissen bedingt. Gerade deshalb erschien diese Strecke für die ersten Modellversuche besonders geeignet; denn bei einem Fluß, der zwischen seinen Ufern pendelt, dessen Tiefenpläne in den einzelnen Jahren wesentlich verschieden sind, würde ein sicherer Anhalt zur Beurteilung des Versuchsergebnisses fehlen. Man erhält Augenblicksbilder im Modell, die mit ebenfalls stets wechselnden Zuständen des wirklichen Flußlaufes zu vergleichen wären. Diese viel schwierigere Aufgabe wird erst anzugreifen sein, wenn mehr Erfahrungen über Modellversuche gesammelt sind.

3. Gang der Versuche im allgemeinen.

Bevor nun die Versuche zur Verbesserung des Fahrwassers beginnen konnten, war es erforderlich, die Eigenart der Weser, das „Flußregime“, im Modell nachzuahmen, und eben dazu sollte der Vergleich des unregulierten und des regulierten Zustandes im Modell und in der Natur die Grundlage bieten. Es handelte sich also zunächst darum, das Modellflüßchen nach Gefälle, Geschiebe, Wassermenge, Höhe und Dauer der verschiedenen Wasserstände so zu bemessen, daß es die Tiefen des unregulierten natürlichen Zustandes im Modellmaßstab möglichst unverzerrt wiedergab. Dann mußten die bei der Regulierung des betrachteten Überganges verwendeten 14 Buhnen möglichst getreu nach der Natur im Modellbett eingebaut werden. Wenn nun hierdurch unter bestimmten Modellverhältnissen ein der Wirklichkeit entsprechender Erfolg der Regulierung im Modell erzielt wurde, so war anzunehmen, daß die Eigenart der Weser an der vorliegenden Strecke im Modell richtig getroffen war und daß somit der weitere Schluß statthaft ist, daß Veränderungen an den Bauwerken im Modell und in der Natur auch gleiche Veränderungen in der Flußsohle hervorrufen werden. Hierdurch würde man dann in der Lage sein, aus den im Modell erprobten Verbesserungen des Fahrwassers auf die im Strome zu erzielenden zu schließen. Welch gewaltiger Gewinn im Falle des Gelingens aus einem solchen Verfahren für den Flußbau entspringt, liegt klar zutage; an Stelle eines unsicheren, langwierigen und kostspieligen Tastens würde eine des Ergebnisses sichere Wahl der Regulierungsmittel treten, und damit Zeit und Geld, die für die Versuche in der Wirklichkeit aufgewandt werden, wenigstens größtenteils gespart werden.

4. Modellmaßstäbe.

Wenn einerseits in dem Übergang vom großen Strome, dessen Kräfte wir nicht beherrschen, zum Modell, wo wir Geschiebe, Gefälle, Wassermenge, Wechsel und Dauer der Wasserstände, kurz alles planmäßig und willkürlich ändern können, eine große Erleichterung für die Beobachtung und

die Erkenntnis der Ursachen von Veränderungen der Flußsohle liegt, so taucht doch damit zugleich eine neue Schwierigkeit auf. Alle diese Größen, außer dem Wasser selbst, müssen im Modell geändert werden, ohne daß zunächst das Verhältnis bekannt ist, wie dies zu geschehen hat. Auf diese wichtige Frage der Modellmaßstäbe muß etwas näher eingegangen werden.

a) Linearer Modellmaßstab. Der allgemeine lineare Maßstab für die Gestalt des Modells ist durch die Größe der in der Versuchsanstalt vorhandenen eisernen Rinne und die Form der Krümmungen, die darin Platz finden müssen, nach oben begrenzt, nach unten durch das Bestreben, die Verkleinerung höchstens so weit zu treiben, daß die Genauigkeit der gewöhnlichen Messungen und Peilungen im Strome auch im Modell erreicht wird. Auch die verfügbare Wassermenge

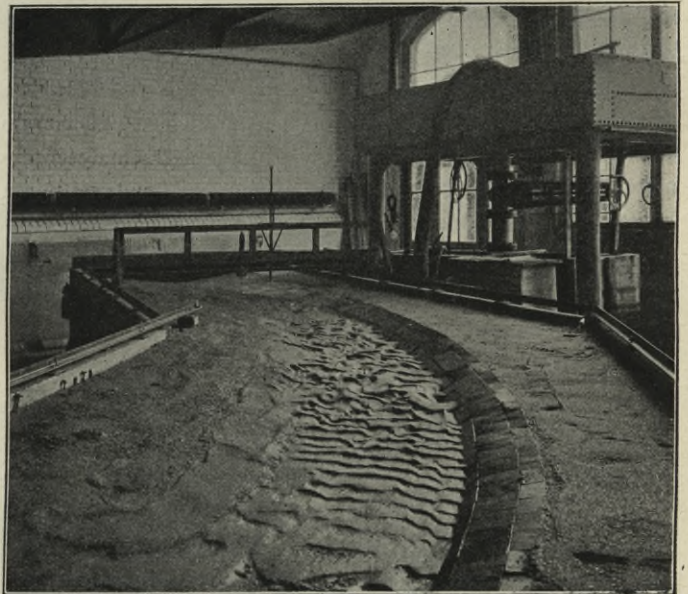


Abb. 19. Riffelbildung bei feinem Sande von gleichmäßigem Korn.

und der Wunsch, oberhalb und unterhalb des betrachteten Überganges noch genügend lange Flußstrecken darstellen zu können, sprachen bei diesen Erwägungen mit. Es wurde schließlich das Verhältnis 1:100 für die linearen Abmessungen gewählt, wobei auf 16 m eine Strecke von $\sim 1,6$ km dargestellt wurde; der übrige Teil der 20 m langen Rinne entfällt auf Zu- und Ablauf und Sandfang.

b) Geschiebemaßstab. Weiterhin mußte ein passender Modellsand gewählt werden. Die Geschiebegröße steht in engstem Zusammenhang mit der für die Ausbildung des Bettes maßgeblichen Wassermenge und dem Gefälle; sie konnte also nicht unabhängig festgesetzt werden. Das weiter unten (Seite 20) angeführte Gesetz über den Zusammenhang von Gefälle, Tiefe und Geschiebekorngröße enthält noch zwei willkürliche Veränderliche, das Gefälle und den Korndurchmesser des Modells, so daß es allein auch nicht zur eindeutigen Bestimmung der erforderlichen Sandkorngrößen hinreicht, selbst wenn die für den vorliegenden Zweck richtige Verteilung der in einem Gemenge vorhandenen verschiedenen Korngrößen bekannt wäre. Es war von vornherein klar, daß der lineare Modellmaßstab 1:100 bei 8 mm mittlerem Korndurchmesser des Wesergeschiebes auf das zu wählende ModellsandgröÙe linear nicht übertragen werden konnte; dies würde

fast unfehlbar feinen Staub ergeben haben; eher war zu erwarten, daß die Rauminhalte im Verhältnis 1:100 zu verkleinern wären, was auf eine $\sqrt[3]{100} = \text{rd. } 4,65$ fache lineare Verkleinerung führen würde. Bei dem völligen Mangel an Anhaltspunkten für die Beantwortung aller dieser und der sich daran weiter anknüpfenden Fragen mußte die passende Sandsorte praktisch ausprobt werden. Ein zuerst gewählter ausgesiebter Sand von rd. 0,3 mm bis 1,0 mm Korngröße ergab bei keinem Gefälle Flußformen, wie sie etwa dem Maßstab 1:100 entsprechen hätten; das Bett war in eine Reihe von Kolken und Riffeln aufgelöst (Text-Abb. 19). Solche Bildungen, wie sie auch am Strande und im Dünen-sande so häufig sind, scheinen besonders bei gleichmäßig feinem Korn aufzutreten. Danach wurde ein ebenfalls ausgesiebter Sand von 1 mm bis 7 mm, im Mittel 3 mm Korngröße gebraucht. Dieser Sand ergab nun wohl Flußformen, welche denen der Weser einigermaßen nahe kamen; aber sie wiesen noch eine starke Verzerrung der Tiefen auf, das grobe Korn erheischte ein sehr starkes Gefälle (rd. 1:200) mit entsprechend großen Geschwindigkeiten und starker Unruhe des Wasserspiegels, und weil keine feineren Bestandteile darin enthalten waren, so kam die Geschiebebewegung bald nach Ablauf des Hochwassers zur Ruhe, so daß man immer das Bild eines Flußbettes bei Hochwasser erhielt, während doch im Strom gewöhnlich bei mittleren oder niedrigen Wasserständen gepeilt wird.

Der Modellsand mußte demnach gemischtes Korn aufweisen, und mußte zwar feiner als der zuletzt benutzte, aber gröber als der zuerst gebrauchte sein. Um ihn genauer bestimmen zu können, wurden dem Weserbett der Versuchsstrecke in vier Querschnitten bei km 303, 304, 305 und 306 je drei Geschiebeproben entnommen, eine aus der Flußmitte und je eine nahe den Ufern. Die Entnahmestellen km 303 und km 306 liegen in einer scharfen Krümmung, die anderen beiden auf Übergängen. Diese Proben wurden in der Versuchsanstalt durch Sieben in verschiedene Sorten mit steigender Korngröße zerlegt. Wenn man die Trockengewichte der einzelnen Sorten als Abszissen, die Durchmesser als Ordinaten aufträgt, so erhält man eine Schaulinie, welche die Art der Zusammensetzung des Gemenges darstellt. Man kann dann den mittleren Korndurchmesser des Gemenges festsetzen als

$$D = \frac{\sum (p \cdot d)}{\sum (p)},$$

wobei d die Durchmesser, p die Gewichte der einzelnen Sorten sind.

Die Schaulinie für das Mittel aller zwölf Geschiebeproben der Weser ist in der Text-Abb. 20 zu sehen. Der mittlere Durchmesser ist die mittlere Höhe der Fläche = rd. 8 mm. Ein bestimmtes Verhältnis der Zusammensetzung der Geschiebe in der Krümmung und im Übergang, sowie an den Ufern und in der Mitte hat sich nicht herausgestellt; bei den Zufälligkeiten, welche der Entnahme im strömenden Wasser ohne besondere Sicherungsmaßregeln gegen Ausspülen der feineren Teile anhaften, und der geringen Zahl von Proben ist dies nicht weiter verwunderlich. Augenscheinlich sind die obersten Schichten durch eine längere Auswaschung bei fallendem Wasser besonders in der Strommitte und am oberen dem Angriff mehr ausgesetzten Ende der Bänke gröber als

die tieferen Sandschichten, die flacheren Stellen im Strom und die unteren Enden der Bänke.

Hiernach wurde ein Flußsand gewählt, der eine ähnliche Schaulinie, also ähnliche Verteilung der Korngröße hat, in seinem

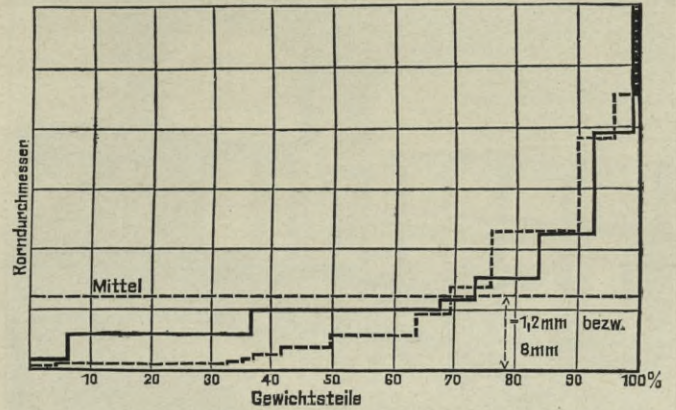


Abb. 20. Zusammensetzung

- des Modellsandes (Maßstab: 1 mm = 0,125 mm),
mittl. Korndurchmesser = 1,2 mm;
- - - des Wesergeschiebes (Maßstab: 1 mm = 0,833 mm),
mittl. Korndurchmesser = 8 mm.

mittleren Durchmesser aber natürlich erheblich kleiner ist als der Wesersand. Das Verhältnis der mittleren Durchmesser ist etwa $1,21 : 8,00 = 1 : 6,7$. Auch für diesen Sand ist die Schaulinie in der Text-Abb. 20 eingetragen, jedoch in einem andern Maßstab der Durchmesser als bei dem Wesergeschiebe, damit beide mittleren Korndurchmesser zusammenfallen; der natürliche Wesersand ist danach noch etwas ungleichmäßiger zusammengesetzt, als der Modellsand. Die Versuche mit diesem feineren Sand von gemischtem Korn ergaben in den Tiefenverhältnissen eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit der Natur, als die beiden vorher erwähnten Sorten, wie schon aus den Lichtbildern Text-Abb. 21 u. 22 ersichtlich ist.

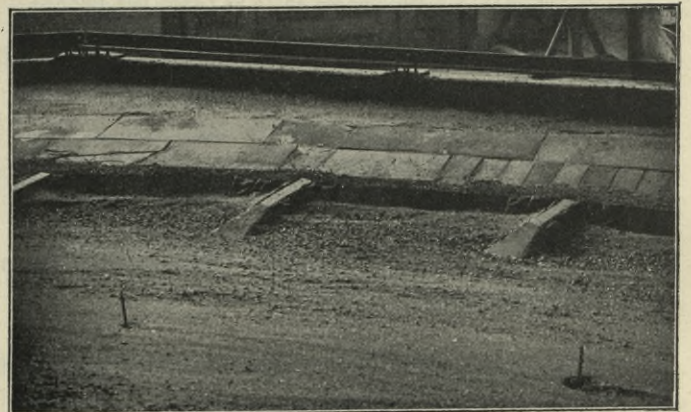


Abb. 21. Glatte Sohle bei Sand von gemischtem Korn.

c) Wassermengen- und Gefälle-Maßstab. Ferner war der Wassermengenmaßstab und das Gefälle zu wählen. Eine große Schwierigkeit der Modellversuche beruht in der Bestimmung gerade dieser Verjüngungsmaßstäbe. Auch sie können nicht einzeln für sich festgesetzt werden, sondern bedingen sich gegenseitig. Man kann z. B. bei einem bestimmten Wasserstand mit viel Wasser und schwachem Gefälle annähernd die gleiche Wirkung auf ein bestimmtes Geschiebe erzielen wie mit wenig Wasser und starkem Gefälle; bei anderen Wasserständen, z. B. bei doppelter Wassertiefe werden jedoch die Wirkungen nicht mehr gleich sein. Das sogen.

Schleppkraftgesetz gibt hier zwar einen gewissen Anhalt. Im Rohen kann damit vielleicht für das Modell das Ver-

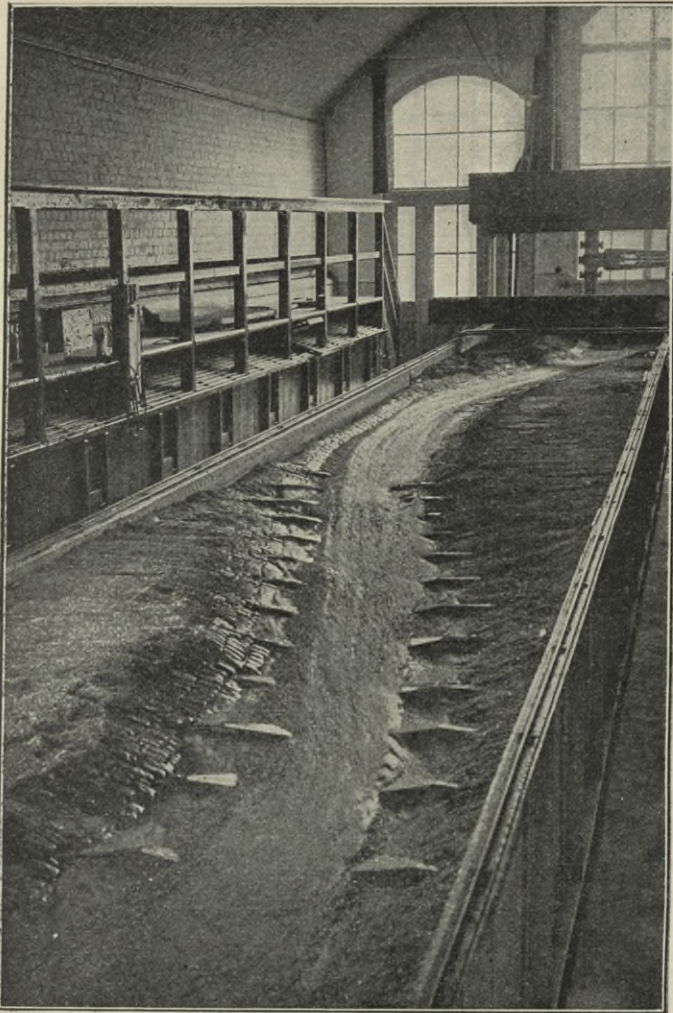


Abb. 22. Ausbau des Überganges auf 5 m Länge mit Bühnen.

hältnis von Tiefe und Gefälle dem der Natur entsprechend gewählt werden; es ist nämlich: $S = \gamma \cdot t \cdot J$,

$$\begin{aligned} \text{wo } S &= \text{Reibung auf 1 qm in kg,} \\ \gamma &= 1000 \text{ kg/cbm Einheitsgewicht,} \\ t &= \text{Tiefe in m,} \\ J &= \text{Gefälle} \end{aligned}$$

bedeutet. Damit der Angriff auf die Sohle in zwei Fällen gleich bleibt, muß sein

$$t_1 \cdot J_1 = t_2 \cdot J_2.$$

Für verschiedenes Korn der Sohle in beiden Fällen ist dies Gesetz von Engels⁶⁾ erweitert worden zu

$$\frac{1}{d_1} \cdot t_1 \cdot J_1 = \frac{1}{d_2} \cdot t_2 \cdot J_2,$$

wo d den Korndurchmesser bedeutet.

Auf den vorliegenden Fall angewandt, ergibt sich für das Modell bei 21/Sek. Durchflußmenge

$$J_1 = 0,02, \quad t_1 = \frac{1,41}{100} \text{ m,} \quad d_1 = 1,2 \text{ mm,}$$

für die Weser bei M. N. W. und 64 cbm/Sek. Abflußmenge

$$J_2 = 0,00014, \quad t_2 = 1,34 \text{ m,} \quad d_2 = 8 \text{ mm.}$$

$$\frac{1}{d_1} \cdot t_1 \cdot J_1 = \frac{235}{10000}, \quad \frac{1}{d_2} \cdot t_2 \cdot J_2 = \frac{235}{10000}.$$

6) Zeitschrift für Bauwesen 1900 S. 355.

Die nach dem Wassermengenmaßstab genau entsprechende Wassermenge von $2 \cdot \frac{40000}{1000} = 80$ cbm fließt nach der Wassermengenkurve des Pegels in Hoya bei einem um 0,18 m höheren Wasserstande ab und ergibt $\frac{1}{d_2} \cdot t_2 \cdot J_2 = \frac{264}{10000}$.

In einer Rechnung mit dieser Formel können jedoch viele Größen wie die Zeitdauer, der Wechsel von Hoch- und Niedrigwasser und dergleichen noch nicht erfaßt werden. Das, worauf es ankommt, ist die Umbildung des Flußbettes, die Gestaltung der Sohle unter dem Einfluß strömenden Wassers. Diese gilt es zu beobachten, und es scheint richtiger, danach erfahrungsmäßig die Wahl der Modellbedingungen, Gefälle und Wassermengenmaßstab zu treffen, als nach hypothetischen Erwägungen. Liegen erst mehr Beobachtungen von Modellversuchen vor, so wird es vielleicht einmal möglich sein, allgemeine Gesetze aufzustellen.

Als ein Kennzeichen der richtigen Wahl aller Modellgrößen in ihrer Gesamtheit ist es sonach anzusehen, wenn die Flußformen mit der Natur übereinstimmen. Während Fargue und Engels mit Querschnitten arbeiteten, die nach der Tiefe zu erheblich verzerrt sind, wurde bei diesen Versuchen besonderer Wert darauf gelegt, auch die Tiefen und entsprechend die Wasserstände unverzerrt zu erhalten, da sonst die Beurteilung der verschiedenen Böschungsneigungen, Bühnenhöhen und dergleichen unmöglich schien. Bezüglich der Wassermengen und Wasserstände mußten also folgende Forderungen erfüllt werden:

1. die Wasserstände M.N.W. = -0,45 m am Pegel in Dörverden
M.W. = +0,77 m „ „ „ „
M.H.W. = 4,93 m „ „ „ „
sollen im Modell im Maßstab 1:100, also unverzerrt, erscheinen,

2. sie sollen alle die der Natur entsprechende Lage zur Bühnenkrone (= +0,50 m a. P. i. D.) haben,
3. die bei diesen Wasserständen vorhandenen Querschnitte sollen denen der Natur entsprechen, ebenso die Tiefen auf den Übergängen und in den Krümmungen,
4. die bei diesen Wasserständen abfließenden Wassermengen sollen in einem gleichbleibenden festen Verhältnis zu denen der Natur stehen.

Diese vorgenannten Forderungen schienen nach längeren Vorversuchen mit anderen Gefällen und Wassermengen bei einem Wassermengenmaßstab von etwa 1:40000 und einem mittleren Spiegelgefälle von etwa 1:500 annähernd erfüllt, wenigstens nach den ursprünglich nicht sehr hoch gespannten Ansprüchen an Genauigkeit. Bei späteren Versuchen hat sich allerdings bei einem etwas schwächeren Gefälle (1:650) eine noch bessere Annäherung an die Wirklichkeit ergeben, besonders für die höheren Wasserstände. Wie aus der Abb. 9 Bl. 4 ersichtlich, fällt die Wassermengenkurve für den Modellfluß ziemlich genau mit der im Maßstab 1:40000 verkleinerten Wassermengenkurve für den Pegel in Hoya zusammen; bei schärferem Gefälle (1:400) liegt sie ganz rechts von dieser, bei flacherem ganz links. Eine vollkommene Übereinstimmung ist nicht zu erwarten, wenn die Uferböschungen nicht ganz genau, sondern nur nach zwei Neigungen, oberhalb M.W. und unterhalb M.W., eingebaut sind, wie geschehen (s. Text-Abb. 23). Da die Querschnitte F

also im Verhältnis von etwa $\frac{1}{100} \cdot \frac{1}{100} = \frac{1}{10000}$ verkleinert sind, die Wassermengen Q bei allen Füllhöhen des Querschnitts entsprechend der Übereinstimmung der Wassermengenkurven im Verhältnis von etwa 1:40000, so verhalten sich beim Gefälle 1:650 genauer, beim Gefälle 1:500 weniger genau die zusammengehörigen Geschwindigkeiten $v = \frac{Q}{F}$ wie 1:4, d. h. bei jedem Pegelstande ist die Geschwindigkeit im Modell $\frac{1}{4}$ mal so groß als in der Natur; da aber die zurückgelegten Längen $\frac{1}{100}$ der Natur sein sollten, so ist die Geschwindigkeit maßstäblich $\frac{100}{4} = 25$ mal zu groß. Der unmittelbare Eindruck entspricht dem; man glaubt ein sehr reißendes Gewässer vor sich zu haben. Ähnlich erscheint ein kleines Motorboot bei gleicher Geschwindigkeit viel rascher zu fahren, als ein großer Dampfer. Der Geschwindigkeitsmaßstab 1:4 steht natürlich in Beziehung zum Geschiebemaßstab 1:6,7, dessen Abweichung nicht allzu groß erscheint, wenn man bedenkt, daß die Art der Geschiebeprobengewinnung aus dem Fluß leicht zu Fehlern führen kann und daß ferner die Art der Mittelbildung — Gewichtsmittel nach dem linearen Durchmesser — bis zu einem gewissen Grade willkürlich ist; es sind nämlich noch manche andere Mittelungen möglich.

d) Zeitmaßstab. Als Zeitmaßstab wurde ein Jahr = 24 Stunden angenommen oder etwa ein Tag = 4 Minuten = 1:360. Eine bestimmte wissenschaftliche Erwägung liegt der Wahl des Zeitmaßstabes nicht zugrunde; er wurde nur mit Rücksicht darauf gewählt, daß die Umbildung des ebenen Bettes in ein Flußbett im Verlauf eines Hochwassers sich vollzog. Wie sich späterhin herausstellte, ist dieses Ziel allerdings nicht vollkommen erreicht worden. Die Zeit der Durchströmung ist wohl noch etwas zu kurz; die Umbildung steigerte sich nach einer sehr langen Reihe von Versuchen, zwischen welchen das Bett nicht eingeebnet wurde, noch ein wenig; da diese weitere Umlagerung aber sehr langsam vor sich ging, schien es nicht angängig, bei diesen ersten Versuchen die Dauer der Einzelversuche noch so erheblich zu verlängern, daß vollständiger Beharrungszustand in der Sohle erreicht würde. Aus dem Geschwindigkeitsmaßstab 1:4 läßt sich ein entsprechender Zeitmaßstab nicht entnehmen.

5. Wasserstandswechsel.

Schließlich war noch über die Wahl des Gesetzes, nach welchem sich der Wasserstand zeitlich ändert, für das Modell Bestimmung zu treffen. Bei den Versuchen mit dem gröberen gesiebten Sande kam es auf die Pegelkurve nicht wesentlich an, weil, wie oben erwähnt, die Geschiebebewegung bald, nachdem der Wasserstand unter die Höhe des die Ausbildung bewirkenden Hochwassers abgesunken war, aufhörte. Bei dem schließlich gewählten gemischten Sande dauert sie jedoch bis zu mittleren Wasserständen; es schien daher notwendig, den Wechsel von Hoch- und Niedrigwasser mehr zu beachten und statt des anfänglich angenommenen gleichmäßigen Steigens und Fallens der Wassermenge eine der Natur nachgebildete Pegelkurve einzuführen. Für den Verlauf des jährlichen Wasserwechsels wurde das Jahr 1897 zugrunde gelegt, dessen Frühjahrshochwasser mit rd. 1000 cbm/Sek. bei + 5,05 m a. P. i. Hoya den Stand eines mittleren Hoch-

wassers des Zeitraumes 1871/1900 mit rd. 870 cbm/Sek. bei 4,78 m a. P. i. Hoya nahe kam. Statt jede einzelne Welle der Wassermengenkurve nachzubilden, wurde diese durch eine gemittelte Linie, die aus einzelnen kleinen Staffeln besteht, ersetzt, um so die Zufälligkeiten der Wasserstands-bewegung eines einzelnen Jahres auszugleichen (s. Abb. 10 Bl. 4). Ein Unterschied in den erzeugten Tiefen konnte bei dahin zielenden Versuchen nicht festgestellt werden, wenn die einzelnen Zacken der Kurve genau nachgebildet wurden. Zur Abkürzung wurden auch die sehr unregelmäßigen Wasserstandsänderungen vor dem Frühjahrshochwasser durch ein gleichmäßiges Ansteigen des Wasserstandes ersetzt. Diejenigen Niedrigwasserstände, bei denen die Geschiebeführung des Modells ruht, konnten ebenfalls gekürzt werden. Die benutzte Abflußmengenkurve erhielt danach die gestrichelte Gestalt in Abb. 10 Bl. 4.

6. Ausführung der Versuche und Beobachtungen im einzelnen.

Der Gang der Versuche war allgemein folgender:

Aus Lageplänen und Querschnitten wurden die Flußufer entnommen und in die Rinne übertragen. Die Uferböschungen wurden da, wo steile Uferschutzwerke vorhanden waren, mit deren Neigung 1:1 angelegt und mit Schrottsäckchen oder Schieferplättchen bis unter die Tiefe der zu erwartenden Auskolkung unter der Sohle befestigt. Dort, wo in der Natur ungedecktes Ufer war, wurde eine mittlere Neigung von 1:4, wie sie sich aus den Querschnitten ergab, angelegt und in gleicher Weise befestigt, da der lose Sand ohne Bindemittel sonst weggespült wurde und der Modellfluß nach der Breite verwilderte. Flache wie steile Böschungen wurden anfänglich gleichmäßig bis zur Höhe des höchsten Wasserstandes durchgeführt. Es stellte sich jedoch bald als notwendig heraus, den Wechsel der Böschungsneigung, wie er in fast jedem Querschnitt im oberen und unteren Teil besteht, nachzuahmen. Gewöhnlich ist der Teil unter M.W. erheblich steiler als der darüber liegende (Text-Abb. 23). Bei den Versuchen mit Wechsel der Deckwerkneigung wurde wiederum

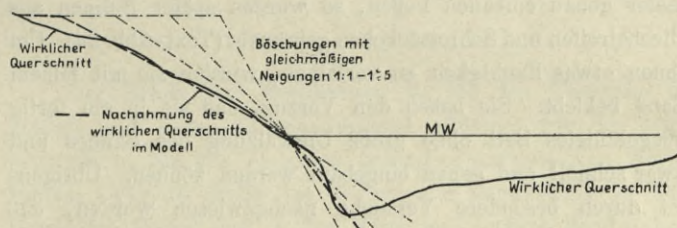


Abb. 23. Wirklicher Querschnitt und Modellquerschnitt des Ufers.

eine bis zum H.W. durchgehende Böschung eingebaut. Auf Ausuferung war an dieser Stelle bei dem ziemlich tief eingeschnittenen Bett bis zu mittleren Hochwassern nicht zu achten. Hierdurch wurde die schwierige Frage der Beeinflussung durch Querströmungen beim Hochwasser ausgeschaltet. Die Flußsohle wurde alsdann wagrecht in der mittleren Höhe der wirklichen Flußsohle eingeebnet, in die gewollte Längsneigung durch Senkung des unteren Endes der Rinne gebracht und alsdann der Durchströmung ausgesetzt. Der am unteren Ende abgeführte Sand wurde in kurzen Zeitabständen entfernt und, nachdem er gewogen, am oberen Ende in kleinen Mengen vollständig wieder zugesetzt, so daß er einen Kreislauf beschrieb. Es kann nicht verhehlt

werden, daß diese Art der Sandzuführung noch viel Unvollkommenes an sich hat und an manchen Ungleichheiten der Versuchsergebnisse Schuld sein mag. Sie wird in der Folge noch weiter zu verbessern sein. Außer der erwähnten Messung des Sandes wurden noch Spiegelgefällmessungen bei 12 bis 14 verschiedenen Wasserständen regelmäßig gemacht; bei geringen Geschwindigkeiten wurde alle Meter eine Messung, bei größeren zur Ausschaltung des Quergefälles alle Meter je drei Messungen, in der Mitte und an beiden Ufern, gemacht. Die Wasserstände wurden dann für verschiedene Pegel mit den aus der Stellung des Zulaufschiebers bekannten Wassermengen zu Wassermengenkurven zusammengetragen (Abb. 9 Bl. 4).

Vereinzelt wurden außerdem Geschwindigkeitsmessungen mit Oberflächenschwimmern oder Pitotschen Röhren vorgenommen. Die Querschnitte wurden so dicht gelegt, daß man ein vollständiges Bild der Sohle, auch da wo sie durch Einbauten unregelmäßig geworden war, erhielt. Durch diese sehr genaue Aufnahme wird das Bild der Tiefenlinien allerdings erheblich unruhiger als das der natürlichen Flußstrecke, wo die Peilquerschnitte gewöhnlich in weit größeren Abständen liegen und viele Kolke an den Buhnen z. B. nicht mit treffen. Übrigens sind einzelne der Kolke nachträglich auch in der Weser festgestellt worden, ebenso wie die scharfen Gefällebrüche.

Nicht in dem Rahmen dieser Versuche lag es, die Form und Art der Verlandung der Buhnenfelder je nach ihrer Lage zum Stromstrich usw. zu untersuchen; dazu hätten besonders in den Buhnenfeldern noch genauere Aufnahmen

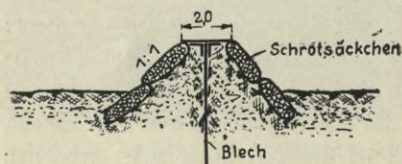


Abb. 24.
Buhnenquerschnitt des Modells.

erfolgen müssen. Die Pläne geben hiervon nur ungefähr ein Bild. Die Buhnen wurden zuerst aus Zementguß hergestellt; da sich solche aber nur mit Schwierigkeiten auf Millimeter genau einbauen ließen, so wurden später Buhnen aus Blechstreifen und Schrotsäckchen gebraucht (Text-Abb. 24). Um ihnen etwas Rauigkeit zu verleihen, wurden sie mit feinem Sand beklebt. Sie haben den Vorzug, daß sie in ein fertig ausgebildetes Bett ohne große Umwälzung des Sandes und zwar schnell und genau eingebaut werden können. Übrigens ist durch besondere Versuche nachgewiesen worden, daß es für die Sohlgestaltung praktisch gleichgültig ist, ob die Buhnen in ein vorher eingeebnetes Bett oder ein bereits der Durchströmung ausgesetztes eingebaut werden. Die erzielte Form ist in jedem Fall fast gleich und stellt annähernd die Gleichgewichtsform zwischen dem strömenden Wasser und dem beweglichen Sande dar. Künstliche Ausfüllungen der Buhnenfelder mit lockerem Modellsand werden ebenfalls angegriffen und in Formen gebracht, welche durch die Anlandungen von selbst entstehen. Die Buhnen müssen besonders mit der Kopfböschung ein Stück unter die Sohle reichen, damit sie bei Vertiefung des Bettes davor nicht freigespült werden. Sie stellen also den Zustand einer stets normalmäßig unterhaltenen Buhne dar. In Wirklichkeit tritt bei Auskolkungen am Kopf ja ein Steilerwerden der Vorderböschung ein. Dies läßt sich im Modell kaum nachahmen.

Buhnen aus Schrot auf nachgiebiger Unterlage sind schwer in die richtige Form zu bringen. Grundschnellen wurden aus einfachen Blechstreifen mit oder ohne Schrotumschüttung gemacht, zuweilen auch in Nachahmung von Sinkstücken aus einem Streifen dicken nachgiebigen Gewebes mit Schrotbeschwerung (Text-Abb. 25 u. 25a).

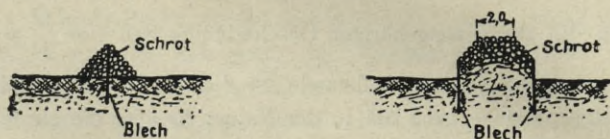


Abb. 25.

Abb. 25a.

Grundschnellenquerschnitte des Modells.

Die Versuche wurden, nachdem die Maßstäbe festgelegt und die Art und Weise der Ausführung und Beobachtung erprobt war, möglichst gleichmäßig durchgeführt, damit der Vergleich der Versuche untereinander einwandfrei wird. Nichtsdestoweniger mögen immer noch viele Zufälligkeiten mitgespielt und die Ergebnisse beeinflußt haben.

7. Ergebnisse.

Wenn hier von Ergebnissen die Rede ist, so bedarf es wohl keiner ausdrücklichen Hervorhebung, daß diese bei den so sehr zusammengesetzten Erscheinungen der Wirkungsweise eines Flusses nach der ersten Versuchsreihe noch nicht als endgültige anzusehen sind. Dazu würden noch viele Versuche unter anderen Verhältnissen und eine weitere Ausbildung der Ausführung und Beobachtung nötig sein. Vertrauen verdienen die Ergebnisse zunächst nur insoweit, als sie mit den Erfahrungen des Flußbaues in Einklang stehen.

Versuchsergebnisse, die mit den bisherigen Anschauungen im Gegensatz stehen, müßten zunächst ganz besonders vorsichtig betrachtet werden; es läge immer die Vermutung nahe, daß wesentliche Verhältnisse des Modells andere waren als die der Natur. Die folgenden Beobachtungen werden dem Flußbauer kaum etwas Neues sagen, eben darum aber verdienen die Modellversuche vielleicht im allgemeinen Vertrauen und zwar auch in den Punkten, wo die Beobachtungen der Natur eine Lücke aufweisen.

Es ist nicht möglich, alle Versuche hier in Plänen zur Anschauung zu bringen. Nur eine Anzahl mag mit ihren Ergebnissen kurz erläutert werden.

a) Modell im Zustand vor der Regulierung des Überganges, verglichen mit der Natur. Abb. 3 Bl. 3 zeigt den Peilplan des Modells in dem Zustande der Weser vor der Regulierung des schlechten Überganges bei km 304, Abb. 1 Bl. 3 die Weser selbst vom Jahre 1897. Die Ähnlichkeit beider Bilder springt in die Augen. Der Vergleich wird noch erleichtert, wenn man die größten Tiefen jedes Querschnitts, sowie die Mindesttiefen in 20 cm (bezw. m), 25 cm und 30 cm Breite, also die Fahrwassertiefen von einer Wagerechten aus gleichsam als Längenschnitt oder Tiefenband für bestimmte Breiten aufträgt (Abb. 1 u. 3 Bl. 4).

Wenn die Tiefen im Modell etwas stärker wechseln, so liegt es zum Teil wohl daran, daß, wie erwähnt, mehr Querschnitte als in der Natur aufgenommen sind, zum Teil daran, daß der Modellsand linear gemessen nur etwa $\frac{1}{6,7}$ also etwa $\frac{100}{6,7}$ oder 15 fach zu stark ist und so einzelne Körner sich

bemerklich machen. Auch dürften durch die infolge der zu großen Geschwindigkeit verhältnismäßig zu starken Wellen, Quergefälle und dergleichen leicht Fehler in die Spiegelhöhe kommen, die mehr Einfluß auf die Tiefen haben als in der Natur. Diese Tiefen sind im allgemeinen etwas zu groß. Sie sind in diesem wie in folgenden Plänen auf den Wasserstand von 2 l/Sek. bezogen, im Maßstab 1:40000 also entsprechend auf 80 cbm/Sek., während die Pläne der Weser auf M.N.W. = 64 cbm/Sek. zurückgeführt sind. 80 cbm/Sek. fließen bei einem 0,18 m höheren Pegelstande ab. Da nun der Wasserstand im Modell bei den einzelnen Versuchen naturgemäß wechselt, je nach den Einbauten, so schien es empfehlenswerter, die Tiefen zum Vergleich immer auf dieselbe Wassermenge statt auf denselben Wasserstand zu beziehen, ein Verfahren, das neuerdings auch in der Praxis an der Weser angewandt wird. Der Wasserstand von 2 l/Sek. liegt, wie die Spiegelgefälllinie dieses Versuches Nr. 21 (Abb. 12 Bl. 4) zeigt, auf dem Übergang etwas tiefer als M.N.W., in der Krümmung oberhalb desselben in M.N.W. Die mit der M.N.W.-Linie in den Spiegelgefällen durch Strichelnung bezeichnete Linie ist in der Höhe angenommen, wie sie zu den zukünftigen Bühnen liegen muß, gleichmäßige Gefälle vorausgesetzt. In Wirk-

In der Natur beträgt für die Querschnitte von km 303,6 bis 304,6, welche die etwa gleiche Strecke decken, für M.N.W. die mittlere Breite 73,92 m
 „ „ Tiefe 1,34 „
 „ „ Fläche 98,7 qm.

Hierbei ist zu berücksichtigen, daß letztere Werte nach der Wassermengenkurve einem 0,18 m niedrigeren Wasserstande entsprechen.

b) Modell im Zustand nach der Regulierung des Überganges verglichen mit der Natur. In das Modellflußbett, wie es dem Zustand vor der Regulierung entsprach, wurden nun die zur Regulierung in der Weser verwendeten 14 Bühnen nach Lage, Höhe, Kopf- und Kronenneigung und Spiegelbreite genau eingebaut. Der Erfolg dieser Regulierung im Modell ist aus Abb. 4 Bl. 3 und dem zugehörigen Fahrwasserplan Abb. 4 Bl. 4 zu ersehen. Trotz gewisser Unterschiede ist eine zunächst befriedigende Übereinstimmung mit den entsprechenden Plänen der Natur Abb. 3 Bl. 4 u. 5 und Abb. 3 Bl. 4 zu erkennen. Die schlechte Form des Überganges ist beseitigt, die Fahrrinne verläuft schlanker; die Fahrtiefe auf der Schwelle ist wesentlich gebessert. Der Vergleich der Fahrwasserpläne zeigt die in folgender Zahlentafel zusammengestellten Tiefen:

Zahlentafel der Schiffahrtstiefen.

	Vor der Regulierung				Nach der Regulierung			
	etwa bei km 303,9 = Rinnenstation \sim 110		bei 304,1 = Rinnenstation \sim 130		bei km 303,9 = Station \sim 110		bei 304,1 = Station \sim 130	
	Ende der oberen Krümmung		Übergang		Ende der oberen Krümmung		Übergang	
	in 20 m bzw. 20 cm Breite	in 30 m bzw. 30 cm Breite	in 20 m bzw. 20 cm Breite	in 30 m bzw. 30 cm Breite	in 20 m bzw. 20 cm *Breite	in 30 m bzw. 30 cm Breite	in 20 m bzw. 20 cm Breite	in 30 m bzw. 30 cm Breite
	1	2	3	4	5	6	7	8
Weser bei M.N.W. = 64 cbm/Sek. 1897 bzw. 1904	1,52	1,26	1,28	1,28	1,42	1,15	1,95	1,75
Modell Gefälle 1:500 bei 2 l/Sek. Versuch 21 bzw. 24	1,50	1,30	1,50	1,30	1,80	1,20	1,90	1,70

lichkeit weist das N.W. ebenfalls erhebliche Gefällbrüche auf, wie die genauen Aufnahmen von 1904 zeigen (Abb. 11 Bl. 4). Die größten Tiefen der Querschnitte haben allerdings für die Schiffbarkeit keine Bedeutung, weil sie aber einen gewissen Einblick in die Gleichmäßigkeit des Abfluvorganges und einen Anhalt für den Angriff auf die Strombauwerke bieten, so mögen sie in den folgenden Vergleichen kurze Erwähnung finden. Für den Versuch Nr. 21 und die Weser vor dem Ausbau ergibt sich, daß die größten Tiefen im Modell fast durchgängig zu groß sind, besonders in den Krümmungen. Die Fahrwassertiefen auf 20 bis 30 cm (bzw. m) Breite sind im Modell auf dem Übergang kleiner, in der oberen und unteren Krümmung etwas größer als in der Natur. Die mittleren Querschnittsflächen sowie die mittleren Querschnittstiefen stimmen ziemlich gut überein. Für die Strecke Station 80 bis 170 beträgt im Modell-Versuch Nr. 21 bei 2 l/Sek.

die mittlere Breite 75,56 cm
 „ „ Tiefe 1,41 „
 „ „ Fläche 105,2 qm.

Der Erfolg der Regulierung ist für den Übergang in Modell und Natur übereinstimmend günstig, wie die fettgedruckten, für den Vergleich besonders maßgeblichen Werte zeigen. Für die Stelle des Beginns der Regulierung ist der Erfolg im Modell und in der Natur auf geringe Breite vorhanden; in 30 cm (bzw. m) Breite ist er teilweise sogar negativ, d. h. es hat sich eine tiefe, aber zu schmale Rinne ausgearbeitet. Im Modell wie in der Natur liegt nun die weitaus schlechteste Stelle des Fahrwassers an der ersten Bühne rechterseits, wo die Sandbank vom linken Ufer her weit in den Strom vortritt; dies mag zum Teil von der Unregelmäßigkeit der rechten Uferlinie herrühren, welche hier scharf zurücktritt.

c) Wirkung von Veränderungen der Streichlinien. Nachdem durch diese Übereinstimmung mit der Natur die Eigenart der Weser im Modell in genügendem Maße wiedergegeben schien, wurde der zweite Teil des Arbeitsplanes, die Versuche zur Verbesserung der Schiffahrtsrinne, in Angriff genommen. Zunächst wurde versucht, die

vor erwähnte schlechte Stelle an der obersten Buhne auf die Tiefe der übrigen Querschnitte durch Änderung der Richtung der Streichlinien und Vorbau einer oder mehrerer weiterer Buhnen am rechten Ufer oberhalb der ersten zu bringen. Örtlich war ein gewisser Erfolg zu bemerken, besonders der übergroße Kolk unter der ersten Buhne wurde kleiner, die Stelle blieb jedoch die ungünstigste der ganzen Strecke. Auf der übrigen regulierten Strecke wurde mit den neuen mehr stetig gekrümmten Streichlinien keine merkliche Vertiefung erreicht; nur gingen auch hier die Kolke zurück.

d) Verbreiterung des schmalen Fahrwassers in der Krümmung mit Grundschnellen. Hiernach begannen die Versuche zur Verbesserung des Fahrwassers in der Krümmung oberhalb der Buhnengruppe durch Einbau von Grundschnellen. Der Plan war, zwei Höhenlagen, nämlich 1,50 cm und 1,75 cm am Ufer unter M.N.W., zwei Neigungen des Rückens der Schwelle, nämlich 1:10 und 1:20, und vier Abstände von 100 cm, 50 cm, 25 cm und 12,5 cm zu untersuchen; daran schlossen sich noch Versuche, bei dem die Zwischenfelder der Grundschnellen mit Schrot ausgefüllt waren (Sand blieb nicht liegen). Die Versuche zeigten, daß erst bei der ziemlich engen Stellung mit 12,5 cm Abstand die Grundschnellen auf Verbesserung des Fahrwassers hinwirkten, bei ihrer geringen Höhe vielleicht mehr durch Hebung des Wasserstandes als durch Abtrieb der Sandbank (Text-Abb. 26). Auch an der Weser ist beobachtet worden, daß die Schwellen eng, in 15 bis 20 m Abstand liegen müssen, wenn sie merklich wirken sollen. Natürliche Aufsandung in den Feldern trat nur an der obersten Strecke der Krümmung ein, die größten Tiefen wurden allerdings auch schon bei 100 cm Abstand der Schwellen etwas geringer.

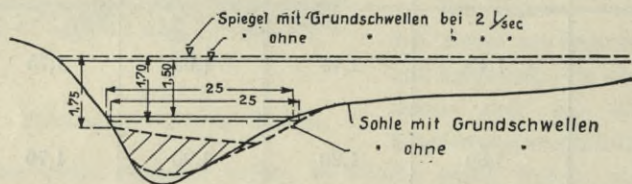


Abb. 26. Querschnitt in der Krümmung ohne Grundschnellen und mit engliegenden niedrigen Grundschnellen. (Schematisch.)

Der Unterschied in der Wirkung bei den Neigungen 1:10 und 1:20, sowie bei den Höhenlagen 1,50 cm und 1,75 cm unter M.N.W. war nicht deutlich ersichtlich. Die Abweichungen der Sohlform gingen nicht über das Maß der sonst zwischen zwei gleichen Versuchen auftretenden Ungleichheiten hinaus. Diese Versuche sind deshalb nicht ganz einwandfrei, weil sie ohne Einebnung des Bettes hintereinander ausgeführt wurden. Wie vorher erwähnt, steigert sich im Lauf einer langen Versuchsreihe die Höhe der Sandbänke über die bei der ersten Durchströmung erreichte Lage hinaus. Diese langsame Erhöhung arbeitet der abtreibenden Wirkung der Grundschnellen entgegen. In der verhältnismäßig flachen Krümmung sind die Übertiefen nicht groß und deshalb die durch die Grundschnellen verbauten Flächenteile bei den höheren für die Geschiebeführung maßgeblichen Wasserstände nicht beträchtlich, am größten bei Station 85 mit 13 qcm bei rund 100 qcm M.N.W.-Querschnitt. Bei einer anderen, den Verhältnissen der Weser nachgebildeten

kurzen scharfen Krümmung wurden in den sehr bedeutenden Übertiefen bis etwa 5 cm hohe Grundschnellen in 20 cm Abstand mit einer Neigung 1:10 und einer Höhe am Ufer von 1,5 cm unter M.N.W. eingebaut. Diese wirkten kräftig auf Abtrieb der Sandbank am gegenüberliegenden Ufer. Die Tiefen zwischen den Schwellen verminderten sich etwas, auf der Unterseite verlandeten die Schwellen stark, bis zur Kronenhöhe, auf der Oberseite nur wenig; dabei war es ziemlich gleichgültig, ob die aus Blechstreifen bestehenden Schwellen Seitenböschungen aus Schrotsäckchen erhielten oder nicht. An der Oberseite bildete sich eine scharfe Strömung nach der Flußmitte zu aus, im übrigen war das Feld von einem Wirbel mit wagerechter Achse erfüllt, dessen Strömung an der Sohle gegen die Unterseite der Schwelle gerichtet war und hier die Ablagerung hervorrief (Text-Abb. 27). Bei den niedrigen Schwellen dieser Strecke waren die Wirkungen

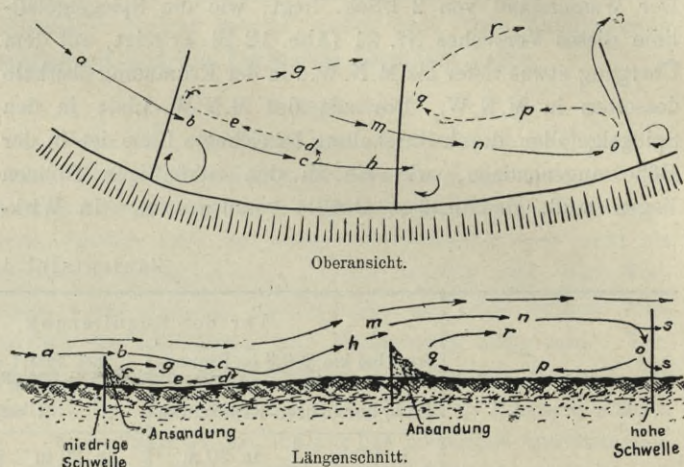


Abb. 27. Wirbelbildung im Grundschnellenfeld.

undeutlich. Durch Ausfüllung der Zwischenfelder der Grundschnellen mit Schrot konnte keine weitere Verbesserung der Schifffahrtsrinne erzielt werden; vielleicht geht sogar ein Teil der Hebung des Wasserspiegels durch die Glättung der Sohle verloren. — Eine weitere bereits begonnene Versuchsreihe mit einer langen Krümmung von kleinem Halbmesser, Weser km 238 bis km 240, wird die Frage, welche Form und welcher Abstand der Grundschnellen am günstigsten wirkt, noch weiter klären.

e) Verbreiterung des schmalen Fahrwassers in der Krümmung durch Abflachung des Deckwerkes. Ein anderer Weg, um die Übertiefen und Minderbreiten in den Krümmungen zu beseitigen, besteht in der Abflachung der Uferböschung. Die zunächst zum unmittelbaren Uferschutz gebauten Deckwerke haben von etwa M.N.W.-Höhe 1:1 bis 1:2 Neigung, und das oberhalb der M.N.W.-Linie liegende meist ungedeckte Ufer hat eine Böschung von 1:5 bis 1:10, im Mittel 1:6,5 an dieser Stelle. Unter Festhaltung der M.N.W.-Linie, soweit nicht kleine Ausgleichungen zur Erzielung einer stetigen Krümmung erforderlich waren, wurde die Böschung in eine durchgehende Neigung umgelegt, und zwar wurden 1:1, 1:2, 1:3 und 1:5 ausgeprobt. Die Wirkungen einer Deckwerkabflachung sind im allgemeinen deutlicher als die einer Verbauung der Kolke mit Grundschnellen. Sie bestehen in einer wesentlichen Verringerung der größten Tiefen, deren Verschiebung nach der Strommitte und einer Vertiefung des Fahrwassers in bestimmter Breite,

die teilweise von der Hebung des Wasserspiegels herührt (Text-Abb. 28). Die Wirkung bei diesen Versuchen kommt nicht ganz rein zum Ausdruck, weil neben den Deckwerkabflachungen auch Verschiebungen der linksseitigen

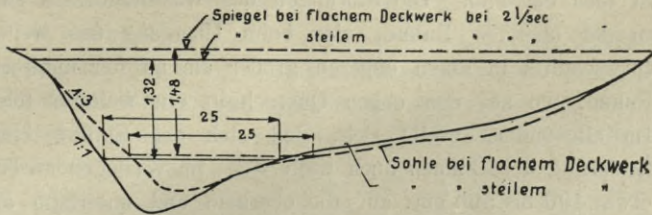


Abb. 28. Querschnitt in der Krümmung bei steilem und flachem Deckwerk. (Schematisch.)

Buhnen (7 bis 14) vorgenommen wurden, was, wie bei späteren Versuchen festgestellt, auch auf die etwa 5 m weiter oberhalb liegende Sandbank von Einfluß ist. Darum ist ein zahlenmäßiger Vergleich zunächst nicht möglich. Oben erwähnte Richtung der Veränderung ist aber zweifellos festgestellt, da die Art der Veränderung an den Buhnen in ihrer Wirkung derjenigen der Schwellen entgegenarbeitet. Eine Böschung 1:3 scheint im allgemeinen schon recht günstige Fahrwasserhältnisse zu geben; bei steilerer Neigung nehmen die Übertiefen zu.

f) Versuche zur Vertiefung des flachen Überganges. Es blieb nun von den im Arbeitsplan vorgesehenen Versuchen übrig, den Normalquerschnitt auf dem Übergang in der geraden Strecke mit Buhnen verschiedener Art auszubauen. Dazu wurden zwei Höhenlagen des Buhnenrückens erprobt; bei der höheren liegt die Krone am Kopf 0,95 cm über M.N.W.; diese entspricht der jetzt zum Ausbau angewendeten Form; die niedrigere liegt nur 0,45 cm über M.N.W. Ferner wurden vier Kopfböschungen, 1:4, 1:6, 1:8 und 1:10 untersucht. Und schließlich wurden die Spiegelbreiten zwischen den Grenzen von rund 60 cm und 44 cm verändert.

Das Ergebnis der Versuche mit verschiedener Höhenlage war nicht schlüssig, was die zu erreichende Änderung der Fahrtiefe anlangt. Dagegen war eine Abnahme der Kolke und überhaupt eine glattere Sohle bei den niedrigeren Buhnen ersichtlich. Ebenso war es zunächst noch nicht möglich, ein Urteil über die günstigste Kopfneigung zu gewinnen; es zeigte sich nur, daß bei gleicher Querschnittseinschränkung flachere Kopfböschungen geringere Kolkungen zur Folge haben. Die Verringerung der Spiegelbreiten ergab eine deutliche Vermehrung der Fahrtiefe; bei starken Einschränkungen nahmen hauptsächlich die größten Tiefen in der Mitte der Fahrinne zu, in geringerem Maße die Tiefen auf 20 bis 30 cm Breite, so daß also mit einer übermäßigen Einschränkung für die Schifffahrt nichts gewonnen wird.

g) Ausbau einer längeren Strecke nach verschiedenen Normalquerschnitten. Bei diesen Versuchen mit Abänderung der Buhnen war in Anlehnung an die Regulierung in der Natur nur auf etwa 50 cm Länge ein beiderseits ausgebauter Normalquerschnitt mit zwei Paar einander gegenüberliegenden Buhnen vorhanden. Diese kurze Strecke erwies sich für die Beurteilung des günstigsten Normalquerschnitts als zu gering. Deshalb wurden noch weitere Versuche mit Ausbau einer 500 cm langen Strecke vorgenommen. Hierbei wurden nur zwei Kopfneigungen, 1:4 und 1:8, angewendet; die noch flachere

Böschung 1:10 kam nicht weiter in Frage, da die natürliche Form des Flußbettes und die Höhenlage der Ufer sie als nicht gut ausführbar erscheinen ließen. Für die Einschränkungen war festzuhalten, daß solche oberhalb derjenigen Wasserstände, bei welchen die Geschiebebewegung beginnt, nicht erwünscht sind; dagegen ist eine mäßige Verringerung des M.N.W.-Querschnitts noch zulässig, sofern sie durch eine Erweiterung des über M.N.W. liegenden Teiles des Querschnitts unschädlich gemacht wird. Diese Bedingung läßt sich unter Beibehaltung der Neigung 1:4 nur durch Niedrigerlegen des Rückens und Einschränkung der Spiegelbreite, bei Anwendung flacher Kopfböschung 1:8 durch Verbreiterung des Spiegels ohne oder mit Abtragung der Buhnenrücken erreichen. Die Breite des Querschnitts in der Tiefe von 1,50 cm unter M.N.W. muß aus Schifffahrtsrückichten mindestens 24 m betragen. Auf Grund der Erfahrungen bei den bisherigen Versuchen wurde jedesmal die Sohle frisch eingeebnet, so daß diese Versuche vollständig vergleichbar sind. Es ist auch hierbei nicht erforderlich, alle Pläne hier wiederzugeben. Es wird genügen, eine Versuchsreihe mit Änderungen der Breite zu bringen, die Versuche 68, 70, 72, 74, für welche die Peilpläne, Spiegelgefälleinien sowie Fahrwasserpläne in Abb. 5 bis 8 Bl. 3 und Abb. 5 bis 8 und 14 bis 17 Bl. 4 dargestellt sind. Aus den Ergebnissen dieser und der anderen hier nicht dargestellten Versuche ist folgendes anzuführen.

1. Einfluß einer Erhöhung der Buhnen von 0,45 cm über M.N.W. auf 0,95 cm.

Ähnlich wie bei dem vorher erläuterten Ausbau mit nur 14 Buhnen, von denen nur zwei einander gegenüberliegen, ist auch hier die Wirkung unklar und scheinbar widerspruchsvoll. Solange die durch die Erhöhung herbeigeführte Querschnittsverkleinerung gering ist, d. h. bei kurzen Buhnen mit Kopfböschung 1:4 und 1:8, sind die Fahrwassertiefen bei niedrigen Buhnen ein wenig günstiger. Bei stärkeren Einschränkungen sind die Tiefen im allgemeinen bei den höheren Buhnen etwas größer. Die Größttiefen sind nicht sehr verschieden; bei den kürzeren Buhnen sind sie für die niedrige Lage etwas größer als für die höhere Lage, bei den längeren Buhnen (Einschränkung auf 50 cm Spiegelbreite durch Buhnen mit Kopfböschung 1:4) für die hohe Lage geringer als für die niedrigere. Die schlechteste Stelle des Fahrwassers liegt immer in der Nähe der obersten Buhnen. Auch hier nimmt die Tiefe bei Erhöhung der Buhnen ein wenig ab, wenn die Einschränkung klein ist, dagegen zu, wenn sie erheblich wird. Im ganzen genommen sind die Tiefenunterschiede recht schwach ausgebildet; sie betragen im Mittel meist unter 0,2 cm.

Die Vertiefung des Fahrwassers infolge der Erhöhung der Buhnen ist am unteren Ende der Strecke fast stets am größten, bzw. die Verflachung am geringsten. Das Bett wird also durch die Erhöhung zunehmend unregelmäßig im Längsschnitt. Niedrige Buhnen scheinen deshalb im allgemeinen in den hier angenommenen Verhältnissen und in den hier versuchten Grenzen günstiger als hohe; sie haben gleichmäßigere, meist größere Fahrtiefen und geringere Übertiefen und Kolke zur Folge.

2. Der Einfluß einer Einschränkung des Querschnitts durch Verminderung der Spiegelbreite für M.N.W.

von 60 cm auf 55 bzw. 50 cm (unter Beibehaltung der Bühnenhöhe und der Bühnenkopfneigung) ist deutlicher ersichtlich, als der einer solchen durch Erhöhung der Bühnenrücken. Bei den Bühnen mit der Kopfböschung 1:8 hat die Einschränkung des Flußquerschnitts in allen Fällen eine Vermehrung der Fahrwassertiefe zur Folge und zwar bei höheren Bühnen mehr als bei niedrigen. Bei den Bühnen mit der Kopfneigung 1:4 und niedrigen Rücken erzeugt die Einschränkung der Spiegelbreite oben eine geringe Verflachung, mitten und unten eine Vertiefung, die je weiter nach unten um so deutlicher wird. Hierfür sind die Peil- und Fahrwasserpläne der Versuche 68, 70 und 72 (Abb. 5 bis 7 Bl. 3) maßgeblich. Bei denselben Bühnen mit hohem Rücken erzeugt die Verminderung der Spiegelbreite überall eine Vertiefung des Fahrwassers. Die Fahrwassertiefen der Krümmung oberhalb der Bühnen nehmen stark ab, wenn die Bühnen an Länge zunehmen. Die Größttiefen, insbesondere die Bühnenkolke nehmen meist zu. Im allgemeinen wirkt eine Breitenverminderung des M.N.W.-Spiegels kräftig und in zunehmendem Maße auf Vertiefung hin. Die Vertiefung ist am unteren Ende der regulierten Strecke am größten, was wohl der Zusammenfassung des Gefälles dort zuzuschreiben ist; der Längenschnitt wird durch stärkere Einschränkung unregelmäßiger.

3. Der Einfluß einer Abflachung des Kopfes von 1:4 in 1:8 bei gleicher M.N.W.-Breite und gleicher Bühnenhöhe ist wiederum weniger deutlich als der einer Breitenänderung. Die Größttiefen sind bei den steilen Bühnen größer. Die Schiffahrtstiefen sind dabei am oberen Ende der regulierten Strecke und in der Mitte fast durchgängig ein klein wenig geringer, am unteren Ende stets erheblich größer als bei den flachen Bühnen. Auch hier sind also die Veränderungen der Tiefen im allgemeinen unten am größten. Die flache Kopfneigung hat demnach ein glatteres Bett mit geringeren Kolken und gleichmäßigeren Fahrwassertiefen zur Folge als die steile Kopfneigung. Die Sohle hat bei letzterem einen Gefällbruch. Für die Schiffahrt ist diese Mehrtiefe am unteren Ende ohne Nutzen. Es muß aber an dieser Stelle nochmals hervorgehoben werden, daß möglicherweise diese Verflachung am oberen Ende nur von den örtlichen Verhältnissen, besonders von der starken Änderung der Krümmung und Unregelmäßigkeit im Hochwasserbett hervorgerufen wird und bei einer regelmäßigeren Strecke nicht auftreten würde.

Diesen Versuchen ist noch ein Versuch Nr. 74 mit wechselnder Breite der ausgebauten Strecke — am Einlauf 62 cm, in der Mitte 55 cm, am Ende wieder 60 cm Breite — im M.N.W.-Spiegel angeschlossen (Abb. 8 Bl. 3 und Abb. 8 u. 17 Bl. 4). Es sind Bühnen 1:4 in niedriger Lage verwendet, so daß oben und unten etwa die Bedingungen des Versuchs 68 und in der Mitte von Versuch 70 erfüllt sind. Dieser Versuch 74 zeigt sehr geringe Kolke. Die Unterschiede in den Tiefen im Längenschnitt sind ebenfalls klein. Die Schiffahrtstiefen sind in der Mitte der regulierten Strecke größer als oben und unten; sie entsprechen im einzelnen etwa den Versuchen 68 und 70, welche die gleichen Spiegelbreiten haben.

Eine allmähliche Überführung aus dem breiten unregulierten Querschnitt in den schmalen regulierten scheint für eine stetige Form der Sohle und die Verhütung von Kol-

kungen besonders wichtig. Bühnen, welche unvermittelt weit ins Flußbett vorspringen, erzeugen Unregelmäßigkeiten der Sohle; auch wenn sie am ausspringenden Ufer in geringer Wassertiefe und deshalb scheinbar nicht im Angriff liegen, ist dies der Fall. Die Störungen des Wasserabflusses sind an der obersten Buhne, also beim Übergang des weiten Querschnitts in einen engeren größer als an der untersten Buhne, wo auf den engen Querschnitt ein weiterer folgt. Im allgemeinen ergibt sich, daß sich der Einfluß einer Änderung der Bühnen auch noch weit, im vorliegenden Fall etwa 400 bis 500 cm, auf die oberhalb und unterhalb angrenzenden Strecken bemerklich macht.

Die Einschränkung des Durchflußquerschnitts durch Erhöhung, Verlängerung und Abflachung der Bühnen bewirkt fast stets eine Verschlechterung der Fahrwasserverhältnisse oberhalb des Ausbaues; sie sind dann zum Teil schlechter als auf der regulierten Strecke. Wie zu erwarten war, begünstigt die vermehrte Stauwirkung der Regulierungswerke die Sandablagerung oberhalb, die Zusammenfassung des Gefälles die Auswaschung der Sohle am unteren Ende der Regulierung.

h) Geschiebebewegung. Vollständige Beobachtungsreihen über den Beginn und die steigende Mächtigkeit der Geschiebebewegung im Zusammenhang mit den zugehörigen Geschwindigkeiten konnten wegen der schnellen Wasserstandsänderung bei den höheren Geschwindigkeiten im Verlauf eines regelmäßigen Versuches nicht gemacht werden. Auch war zunächst kein für kleine Tiefen und geringe Geschwindigkeiten geeigneter Geschwindigkeitsmesser vorhanden; er wurde erst bei den letzten Versuchen in brauchbarer Form hergestellt. Es ist dies die vorher, Seite 15, beschriebene Pitotsche Röhre mit Ölschicht. Einige (aus z. T. verlängerten Versuchen hergeleitete) Zahlenangaben mögen aber doch hier Platz finden. Die Abb. 10 Bl. 4 zeigt, in welcher Weise die Geschiebebewegung mit wachsender Wassermenge zunimmt. Die Zacken des Linienzuges rühren zum Teil von der Unregelmäßigkeit der Geschiebebewegung her, die stoßweise verläuft, zum größeren Teil in Ungleichheiten des Wassergehalts des naß gewogenen Sandes und dergleichen Meßfehlern.

Im allgemeinen hört im Modell die Sandbewegung, die noch merkliche Änderungen in der Sohle hervorzurufen imstande ist, bei etwa 8 l/Sek. auf, wobei die Oberflächengeschwindigkeit im Stromstrich etwa 48 cm/Sek. beträgt, die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit etwa 33 cm/Sek. (entsprechend $8 \cdot \frac{40000}{1000} = 320$ cbm/Sek.); völlig ruht sie erst bei 3 l/Sek. mit etwa 38 cm/Sek. größter Oberflächengeschwindigkeit und etwa 25 cm/Sek. mittlerer Querschnittsgeschwindigkeit (entsprechend $3 \cdot \frac{40000}{1000} = 120$ cbm/Sek.).

Diese Zahlen sind nur überschlägige Näherungswerte. Örtliche Geschiebeumlagerungen und Kolkungen stellen sich mitunter gerade bei den allerniedrigsten Wasserständen ein, z. B. an den obersten und untersten Bühnen, wenn die Bühnen nicht mehr überströmt, sondern nur noch umströmt werden und sehr starke örtliche Gefälle auftreten. Leider ist es sehr schwierig festzustellen, bei welchen Wasserständen in der Weser die Geschiebe zur Ruhe kommen, und somit ist der Vergleich mit den Verhältnissen der Natur nicht

anzustellen. Je stärker beim Modellversuch die Querschnittseinengung ist, um so rauher wird die Sohle, die Geschiebebewegung kommt erst bei niedrigeren Wasserständen zur Ruhe und die feineren Bestandteile des Sandes werden ausgespült, während die gröberen Kiesel liegen bleiben.

i) Spiegellage und örtliche Gefälle. Die Spiegelgefällelinien folgen bei niedrigen Wasserständen der Sohlage, der schlanke Verlauf des unregulierten Zustandes wird durch die Buhnen gestört, es entstehen besonders an den obersten Buhnen Gefällbrüche, und zwar um so stärkere, je mehr der Querschnitt eingeengt wird, wenn die Einengung jäh erfolgt; bei allmählicher Verminderung der Spiegelbreite bleibt der Verlauf der Spiegellinie schlank. Bei höheren Wasserständen verwischen sich diese Unterschiede mehr und mehr.

Diese Erscheinungen sind auch in der Natur beobachtet. Zum Vergleich diene das Spiegelgefälle des sehr niedrigen Niedrigwassers vom Sommer 1904 (Abb. 11 Bl. 4).

Man kann auch die absoluten Wasserstandshöhen der verschiedenen Versuche an verschiedenen Stellen des Längenschnitts, gewissermaßen an verschiedenen Pegeln, vergleichen, da die ursprüngliche eingeebnete Sohlage bei allen Versuchen etwa dieselbe war. Bei den Versuchen mit Buhnen 1:8 sind die Änderungen des Wasserstandes klein und anscheinend regellos, bei denen mit Buhnen 1:4 steigt bei niedrigen Wasserständen der Spiegel oberhalb und unterhalb der regulierten Strecke infolge der Einengung durch die Buhnen und durch die vermehrte Sandanhegerung auf den Bänken, während er in deren Mitte infolge der Auswaschung ein wenig absinkt. Bei Wasserständen, welche etwas über M. W. liegen, steigt er durchweg wegen des wachsenden Buhnenstaus und der erwähnten Aufsandung der Bänke.

8. Zusammenfassung.

Als Gesamtergebnis dieser ersten Versuchsreihe läßt sich anführen:

1. Bei einem Fluß mit beweglichem Bett, aber ziemlich unveränderlichen Tiefen ist es möglich, durch passende Wahl der Modellmaßstäbe eine Übereinstimmung der Sohlgestaltung von Modell und Fluß ohne Verzerrung hervorzubringen, welche genügend scheint, Schlüsse vom Modell auf die Natur zu gestatten.

2. Die geringen Fahrwasserbreiten in flachen Krümmungen lassen sich leichter durch Abflachung zu steiler Ufer und Deckwerke, als durch Einbau von Grundswellen vergrößern.

3. Grundswellen wirken unter solchen Verhältnissen nur dann, wenn sie sehr dicht liegen, und zwar mehr durch Hebung des Wasserstandes als durch Abtrieb der Sandbank am gegenüberliegenden Ufer; der Abstand darf nicht über 25 cm betragen.

4. Auch die Abflachung von Deckwerken wirkt im vorhandenen Modell in dem gleichen Sinne; die verhältnismäßig größte Wirkung wird bei der Böschung 1:3 erzielt.

5. Die zu geringe Tiefe auf dem Übergang läßt sich durch Einbau von Buhnen vermehren, und zwar wirken innerhalb der beobachteten Grenzen niedrigere Buhnen mit flachen Köpfen im allgemeinen besser auf gleichmäßige Ausbildung, als höhere oder steilere. Letztere Formen erzeugen leicht Übertiefen, die wegen ihrer Schmalheit für die Schiff-

fahrt ohne Nutzen sind; das gleiche erfolgt bei übermäßiger Breitereinschränkung.

6. Stetiger Ein- und Auslauf in die ausgebaute Strecke und schlanker Übergang der Breiten und Böschungen ist für die gleichförmige Sohlausbildung von besonderem Nutzen.

Versuche über die Bettausbildung der Weserstrecke km 238 bis 240.

Im Anschluß an die vorstehend beschriebenen Modellversuche der Weserstrecke km 303 bis 306, die einen Übergang zwischen zwei mäßig starken Krümmungen darstellte, wurden Versuche mit einer langen scharfen Krümmung km 238 bis 240 mit ausgeprägten Dreieckquerschnitten vorgenommen (s. Tiefenpläne von 1894 und 1904 Abb. 1 u. 4 Bl. 6 u. 7). Das Ziel dieser Versuche war, vor allem die Wirkungsweise der Grundswellen und der Uferabflachung deutlicher klar zu stellen. Dabei wurden eine Reihe von Einzelbeobachtungen über die Stärke und Richtung der Strömung in Krümmungen, die Wirkung von Buhnen am einspringenden und am ausspringenden Ufer und von Abgrabungen der Sandbänke gemacht, die allgemeines Interesse für den Flußbau bieten und darum in Ergänzung der Veröffentlichung über die erste Versuchsreihe hier mitgeteilt werden sollen.

Der Gang der Versuche war im ganzen der gleiche, wie früher. Zuerst wurde der Zustand der Stromstrecke ohne Grundswellen vom Jahre 1894 im Modell nachgebildet; dann, als eine hinreichende Übereinstimmung mit der Natur erreicht war, wurden die in den Jahren 1895 bis 1897 eingebauten Grundswellen nachgebildet und auch hier ein ziemlich entsprechender Regulierungserfolg erzielt. Dadurch war wie bei der ersten Versuchsreihe für km 303 bis 306 die Übereinstimmung in der Eigenart der Weser und des Modellflüßchens bei dem allgemeinen Verkleinerungsmaßstab 1:100 erwiesen. Der Regulierungserfolg in der Natur besteht in einer Hebung des Mittel-Klein-Wasserstandes (M. Kl. W.) bis zu 7 cm in der Mitte der Strecke, während oben und unten eine Senkung um das gleiche Maß wohl zufolge einer allgemeinen Austiefung des Bettes und ein Ausgleich der Gefällbrüche eintrat, so daß die den Grundswellen an sich zuzuschreibende Spiegelhebung wohl auf 14 cm zu schätzen ist; eine andere Wirkung war der kräftige Abtrieb des Brinks. Hierdurch sind die Schiffsverkehrsverhältnisse günstiger geworden. — An diese vorbereitenden Versuche schlossen sich die Versuche mit planmäßiger Abänderung der Grundswellen und der Uferböschungen. Weil jedoch die genau nachgeahmten Zufälligkeiten der Strecke in bezug auf Krümmung und Neigung der Ufer, auf die Lage, Länge und Höhe der Buhnen und dergleichen einen großen Einfluß zu haben schienen und manche scheinbaren Widersprüche hervorbrachten, so wurde zur Gewinnung klarerer und allgemeiner gültiger Ergebnisse ein Kreisbogen (s. Abb. 6 und 7 Bl. 6 und 7) untersucht, der sich der vorhandenen Grundrißform möglichst eng anschloß. Die Böschungen erhielten gleichmäßig verlaufende Neigungen; die Buhnen im hohlen Ufer, die wie in der Wirklichkeit, viele Unregelmäßigkeiten erzeugten, wurden beseitigt; die eingeebnete Sohle erhielt durchgehend gleiche Breite von 22,5 cm, so daß bei der Uferböschung von 1:15 auf beiden Seiten zusammen die Spiegelbreite in 2,5 cm Tiefe immer 60 cm betrug (s. Text-Abb. 12), und

gleichmäßiges Gefälle von rd. 1:650. Im wesentlichen blieb die Eigenart des Modellfließchens bei Verwendung des Kreisbogens dieselbe wie bei der nachgeahmten natürlichen Krümmung, so daß anzunehmen ist, daß die Schlußfolgerungen aus dem Kreisbogenmodell auch für die Natur gelten. Die Sohlage in dem Kreisbogen nach Verlauf des Hochwassers war, wie vorausgeschickt sei, im Längenschnitt auffallend

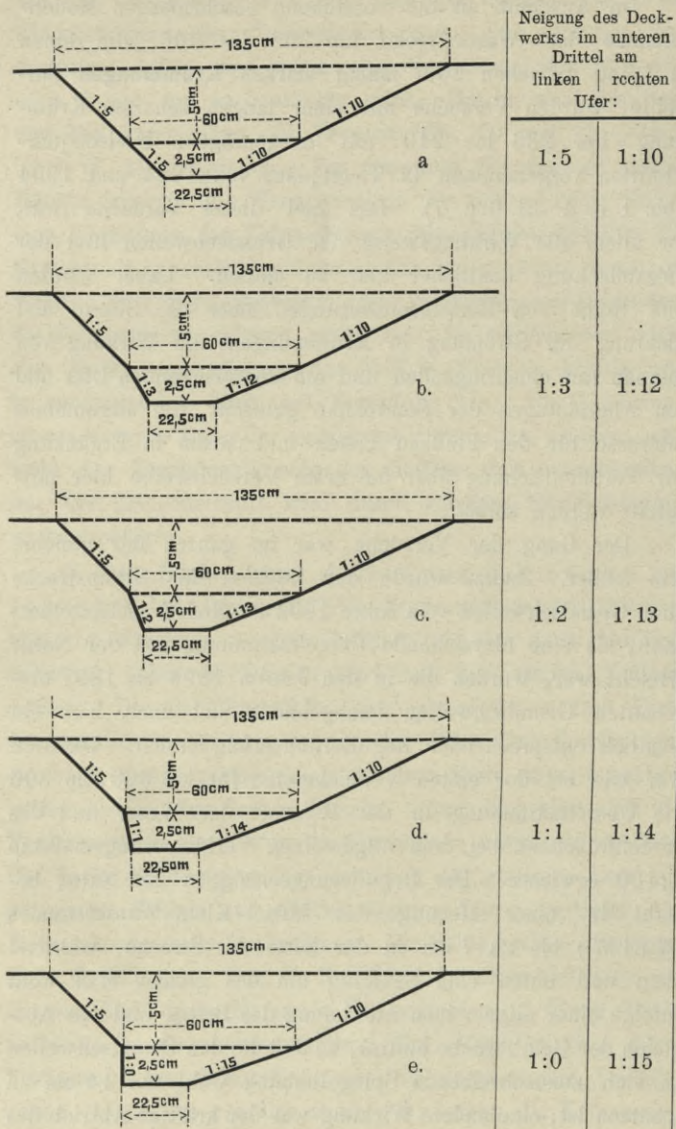


Abb. 12. Eingebaute Querschnitte mit verschiedener Deckwerkneigung in der Kreiskurve.

gleichmäßig. Als Geschiebe wurde wieder der früher beschriebene gemischte Sand, doch unter Aussiebung der größeren Teile, benützt; der mittlere Korndurchmesser war 1 mm. Der Wassermengenmaßstab wurde auf 1:50 000 entsprechend dem gegen früher geringeren Gefälle verkleinert; der Zeitmaßstab blieb 1 Jahr = 24 Stunden oder etwa 1 Tag = 4 Minuten. Dem Abfluß wurde, wie früher, das Jahr 1897 zugrunde gelegt; die Pegelstände entsprechend dem Pegel von Schlüsselburg angenommen, der der Versuchsstrecke zunächst liegt, die Wassermengen ebenso. Ihr Verlauf ist dem in Abb. 10 auf Bl. 4 dargestellten am Pegel in Hoya ähnlich.

Um die Wirkung höherer Grundschwellen in noch schärferen Krümmungen zu beobachten, wurde schließlich eine etwa parabelförmige Krümmung hergestellt (Abb. 8 u. 9 Bl. 6 u. 7); die sonstigen Modellbedingungen blieben die

gleichen. Von den Versuchen sollen nachstehend einige Ergebnisse mitgeteilt werden, soweit sie die früheren Mitteilungen ergänzen.

Die Wirkung der Abflachung des Deckwerks im hohlen Ufer ohne Grundschwellen. Untersucht sind die Neigungen 1:5, 1:3, 1:2, 1:1 und 1:0 (Ufermauer). Da die Sohlbreite des ursprünglichen, eingebneten Bettes immer gleich blieb (22,5 cm), so waren die Flächeninhalte stets gleich, und der Unterschied in der Bettausbildung ist allein der Änderung der Neigung zuzuschreiben (vgl. Text-Abb. 12). Er ist am deutlichsten beim Übergang von 1:3 auf 1:2, wie schon früher gefunden; zwischen 1:5 und 1:3, sowie

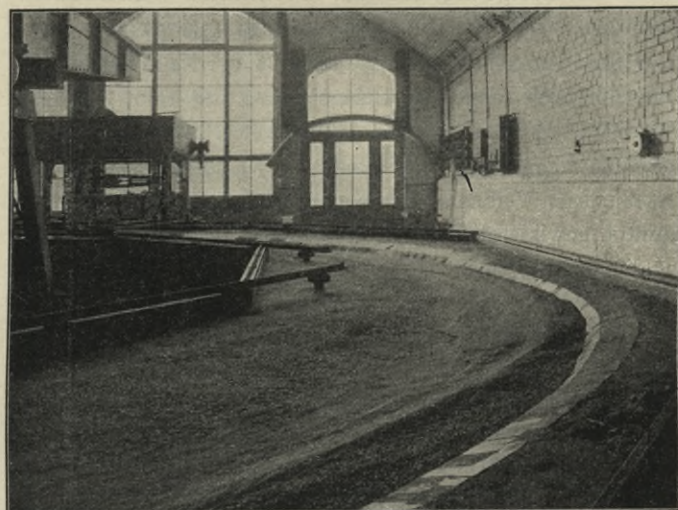


Abb. 13. Bettausbildung in der Parabelkurve bei steilem Uferdeckwerk (Neigung 1:1).

zwischen 1:2 und 1:1 ist er kleiner. Bei der senkrechten Ufermauer tritt die Neigung zur Ausbildung unregelmäßiger Querschnitte, besonders von Wällen neben den Kolken auf;

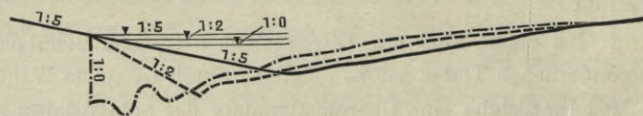


Abb. 14. Querschnittsausbildung bei wechselnder Neigung des Uferdeckwerkes.

neben der Mauer scheint ein toter Winkel zu liegen. Schwächer zeigt sich diese Erscheinung auch schon bei der Deckwerkneigung 1:1. Die bezeichnende Gestalt ist in Text-Abb. 13 und 14 ersichtlich. Die Abflachung bewirkt eine wesentliche Verringerung der Auswaschung der Sohle vor dem Deckwerk; in 40 cm Breite verschwindet der Einfluß; ferner steigen die Wasserstände. Diese beiden Wirkungen arbeiten einander entgegen, so daß die Summenwirkung, die sich als tatsächliche Wassertiefe darstellt, nicht allzu große Verschiedenheiten aufweist. Nur die starke Abnahme der Größttiefen mit der Abflachung ist deutlich ausgeprägt; in mittleren Breiten von 20 cm nehmen die Tiefen mäßig zu; bei größeren Breiten von 30 cm heben sich die durch die Abflachung hervorgerufene vermehrte Hebung des Wassers und die verminderte Auswaschung der Sohle fast auf. Im allgemeinen werden also die Schiffsverkehrsverhältnisse günstiger; der Angriff auf das Deckwerk nimmt ab. Ob, wie hier, auch in der Natur in ähnlichen Verhältnissen der

größere Teil der beobachteten Verbesserung der Hebung des Spiegels zuzuschreiben ist, bedarf noch der Bestätigung.

Was die Wirkung von Grundswellen anbelangt, so zeigte sich, daß sie bei 12,5 cm Abstand stark auf Hebung des Wasserstandes hinarbeiten, weniger kräftig auf Abtrieb der Sandbank, am meisten noch da, wo die Sandbank nicht fest am Ufer anlag, sondern frei als Zunge endete, also hier am Auslauf der Flußkrümmung. Dies Verhalten stimmt nicht ganz mit dem in der natürlichen Flußstrecke beobachteten überein; in der Weserstrecke km 238 bis 240 ist, wie vorher erwähnt, nur eine geringe Hebung des Wasserstandes, aber ein kräftiger Abtrieb der Sandbank festgestellt worden. Die Hebung ist am deutlichsten bei Verkleinerung des Abstandes der Schwellen von 25 cm auf 12,5 cm, wie aus den in Text-Abb. 15 dargestellten Spiegelgefälllinien von

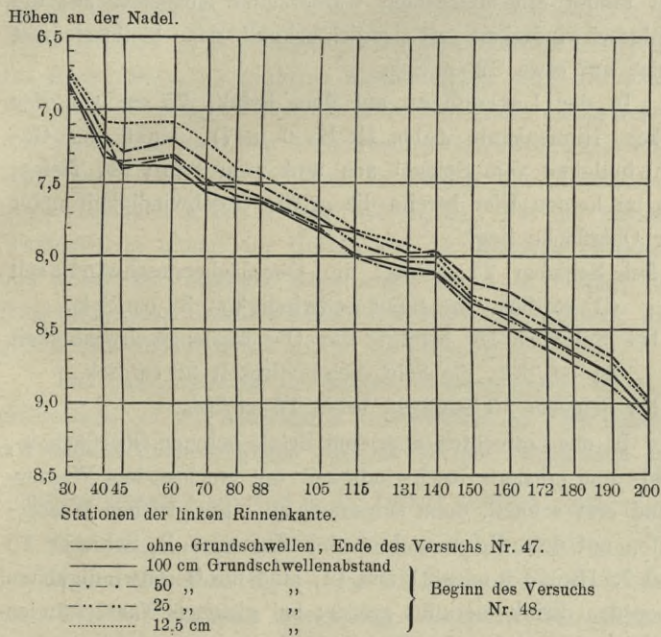


Abb. 15. Hebung des Wasserstandes durch Grundswellen.

2 l/Sek. ersichtlich ist. Eine Ausnahme bei dieser Versuchsreihe macht der Wasserstand ohne Grundswellen, der nach der Spiegelgefällmessung des vorhergehenden Versuches aufgetragen ist. Diese Spiegellinie liegt am oberen Ende tiefer, am unteren höher als alle anderen; es scheint danach eine Speisung des Modellflüßchens aus dem im Sande aufgespeicherten Wasser oder irgend eine nicht feststellbare Unregelmäßigkeit im Versuche eingetreten zu sein. (Die Spiegellinien des Versuches mit Schwellen in 100 bis 12,5 cm Abstand sind vor dem nächsten Hochwasser, also bei ziemlich trockenem Bett, aufgemessen, wobei trotz längerer Durchflußdauer eher ein Versickern des Wassers ins Sandbett als eine Speisung daraus stattfand.) Wurden die Grundswellenfelder mit gewöhnlichem Modellsand verfüllt, so stellte sich sehr schnell wieder die Sohlentiefe wie vordem her, höchstens daß etwas von den größten Teilen liegen blieb. Wurde die Ausfüllung mit Grobsand oder Schrot abgedeckt und dadurch der Wirkung der Strömung entzogen, so blieb der Wasserstand für größere Wassermengen der alte, der für geringe stieg ganz wenig; im allgemeinen ist die Geschwindigkeit und die Glätte der Sohle trotz der Abdeckung mit dem groben Korn nicht geringer geworden. Mehr als auf die Geschiebegröße scheint es auf die Rauigkeit der Sohle im großen auf den Wechsel von Kolken

und Untiefen, von Einengungen und Erweiterungen anzukommen. — Bei 25 cm Abstand schützten die Schwellen nicht vor weiterer Austiefung, während bei 12,5 cm Abstand eine kleine Aufsandung der Zwischenfelder eintritt. Immer scheint eine bestimmte Beziehung zwischen Tiefe und Sohle und Abstand der Schwellen bei gleichem Sandkorn und gleichem Hochwasser zu herrschen. Nur das gröbste Korn hält sich in den Grundswellenfeldern, dagegen lagert sich im unmittelbaren Schutz, sozusagen im Schatten der Schwelle auch feineres ab. Durch Vermehrung des Hochwassers tritt eine weitere starke Austiefung ein.

Die früheren Beobachtungen über die Wirbelbildung zwischen den Grundswellen wurden bestätigt, auch gelang es, die Wassergeschwindigkeit im Wirbel zu messen; die Ergebnisse sind in Abb. 12 Bl. 6 u. 7 dargestellt.

Vergleicht man die Wirkung der Grundswellen vor verschiedenen geneigten Deckwerken, so zeigt sich, daß die Wasserstände immer gleich sind; die Auswaschung ist zwischen den Schwellen bei flachem Deckwerk kleiner als bei steilem, auf der Sandbank aber in mittlerer Breite größer, weiterhin etwa gleich. Die Wassertiefen sind daher durch die Abflachung in geringer Breite verkleinert, auf etwa 20 cm Breite vergrößert, auf 30 cm unverändert. Im Längsschnitt bilden sich die Tiefen um so gleichmäßiger, je flacher die Deckwerkneigung ist; bei steilem Ufer wechseln tiefere und flachere Strecken in wellenförmigem Verlauf.

Geschwindigkeitsmessungen.

Sowohl in der getreu nachgebildeten Krümmung, wie auch in der Kreis- und Parabelkurve sind Geschwindigkeits-

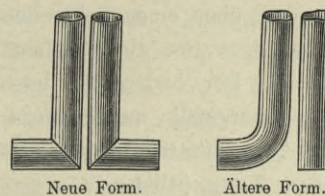


Abb. 16. Pitotsche Röhre.

messungen mit der Pitotschen Röhre mit oberer Ölschicht (vgl. Seite 15) gemacht worden. Die Endigung der Röhre wurde etwas anders gestaltet, um die an genannter Stelle erwähnte Saugwirkung am Röhren für statischen Druck

zu beseitigen, da sie je nach der Entfernung von der Sohle verschieden ist⁷⁾ und mithin die Eichungsergebnisse nicht ohne weiteres verwenden läßt. Das benutzte Röhren (Text-Abb. 16) sollte theoretisch die doppelte Druckdifferenz anzeigen wie das ältere; tatsächlich aber weist es geringere auf; sie ist nur wenig größer (etwa 18 v. H.) als die theoretische des gerade abgeschnittenen. Wie sehr überhaupt das Verhalten der Pitotschen Röhre von ihrer Formgebung abhängt und der Prüfung durch den Versuch bedarf, geht aus einer Eichung der neueren Röhre für schiefe Stellungen hervor. Die Röhre ergibt nämlich nicht in der Richtung der Strömung den stärksten Ausschlag, sondern wenn sie um rund 30° schräg gestellt ist. Die Abweichung der Druckhöhen von der geraden Stellung macht bis 35 v. H. aus; auch dies ist der Saugwirkung an den scharfen Kanten zuzuschreiben; die Röhre ist also in der gegenwärtigen Gestalt als Strom-

7) Dies wurde durch Versuche festgestellt, indem bei Annäherung einer dünnen Platte von unten an das in tiefem strömenden Wasser stehende Röhren der angezeigte Druckunterschied herabging. Die Wasserfäden werden durch die Platte gezwungen, parallel zur Mündung des Röhrens zu fließen und können dann keine Saugwirkung ausüben.

richtungsmesser nicht brauchbar. — Hier sollen die Ergebnisse einiger Geschwindigkeitsmessungen im Scheitel der Parabelkurve mitgeteilt werden. Abb. 5 Bl. 6 u. 7 zeigt die Strömungsrichtungen auf der Sohle und an der Oberfläche bei Hochwasser in der Kreiskurve, bezeichnet durch die Wege von Braunkohlengrus und Korkschwimmern. Man ersieht hieraus den kräftigen Längswirbel, welcher die Ursache der Austiefung längs des hohlen Ufers ist.

Bei dem Versuch vom 17./19. Februar 1906 ohne Grundschwellen wurde eine Messung in der Lotrechten nahe der Stelle der größten Tiefe und eine über der Sandbank vorgenommen. Die Durchflußmengen betragen (Abb. 17 Bl. 6 u. 7):

0,75 l/Sek. bei Schieberstellung	7
2,00 " " "	8
4,65 " " "	10
7,50 " " "	12
12,30 " " "	15
18,30 " " "	18
25,15 " " "	21

Die letzte Wassermenge ist bereits höher als die zur normalen Bettausbildung gebrauchte von 18,3 l/Sek. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte in einem Bett, das schon durch ein auf 22,85 l/Sek. (= Schieberstellung 20) erhöhtes Hochwasser ausgearbeitet war und zwar bei steigendem Wasser. Deshalb trat eine weitere Austiefung auf dem hohlen Ufer (siehe die verschiedenen Sohlagen in Abb. 18 Bl. 7 u. 8) und eine Ansandung auf dem Brink während des Versuches ein, zumal die Messungen geraume Zeit beanspruchen.

Bei dem Versuch mit Grundschwellen vom 20. Februar 1906 lagen diese in 12,5 cm Abstand; die Messung wurde mitten zwischen zwei Schwellen und über einer Schwelle vorgenommen; die Wassermengen usw. waren die gleichen wie beim Versuch ohne Schwellen. — Der Verlauf der lotrechten Geschwindigkeitskurve, der Quergefälle an der Meßstelle, der Längsgefälle und der Querschnittsform ist aus Abb. 10 bis 15 u. 16 bis 20 Bl. 6 u. 7 ersichtlich.

Neben den lotrechten Geschwindigkeitskurven sind auch noch die Kurven der größten, der mittleren, der Sohl- und der Oberflächengeschwindigkeit für die Messung ohne Grundschwellen (Abb. 21 Bl. 6 u. 7) aufgetragen; die Ordinaten sind jedesmal die zugehörigen nach dem Quergefälle gemittelten Wasserstände. Die Vertiefung bzw. Aufhöhung der Sohle ist hierbei nicht berücksichtigt.

Weiter sind die Querschnittsinhalte von Zentimeter zu Zentimeter Höhenunterschied ermittelt (siehe Abb. 22 Bl. 6 u. 7) und als Abszissen zu den Wasserstandshöhen aufgetragen, desgleichen die Spiegelbreiten und die mittleren Tiefen, und schließlich die Abflußmengen; Sohlenänderung und Quergefälle sind auch hierbei nicht berücksichtigt; daraus sind die mittleren Geschwindigkeiten des ganzen Querschnitts berechnet und aufgetragen. Wie aus der Wassermengenkurve hervorgeht, ist der Wasserstand bzw. die Wassermenge von Schieber 7 wahrscheinlich unrichtig; der Meßschieber arbeitet bei diesen kleinsten Wassermengen ungenau. Auch die zum höchsten Wasserstand 21 gehörigen Punkte fallen etwas aus der Reihe; vielleicht beruht dies auf der Vernachlässigung des starken Quergefälles. Die Darstellungen zeigen folgendes:

1. Ohne Schwellen. Die Geschwindigkeit nimmt an der tiefsten Stelle am hohlen Ufer in der Lotrechten 25 cm

(Abb. 18 Bl. 6 u. 7) von der linken Rinnenkante bei den höheren Wasserständen von der Oberfläche aus erst zu, dann schneller ab; die größte Geschwindigkeit liegt bei Schieber 21 in der Mitte der Tiefe und beträgt 54 cm/Sek., die Oberflächengeschwindigkeit etwa 45 cm/Sek., die Sohlgeschwindigkeit etwa 32 cm/Sek. Bei Schieber 15 liegt sie etwa im oberen Drittelpunkt und beträgt 46 cm/Sek., die Oberflächengeschwindigkeit etwa 29 cm/Sek. Bei den niedrigen Wasserständen nimmt sie von der Oberfläche aus ab; bei Schieber 8 z. B. beträgt sie dort 32 cm/Sek., an der Sohle 22 cm/Sek. In den hier untersuchten Grenzen steigt der Faden der größten Geschwindigkeit nur langsam mit wachsendem Wasserstand.

Die größte Geschwindigkeit der Lotrechten der größten Tiefe nimmt fast geradlinig mit dem Wasserstand zu, die mittlere Geschwindigkeit ebenso; die Oberflächengeschwindigkeit nimmt mit steigendem Wasserstand langsamer zu; die Sohlgeschwindigkeit erst ziemlich schnell, dann bleibt sie fast gleich auf etwa 32 cm/Sek.

In der Lotrechten auf dem Brink, 75 cm von der linken Rinnenkante (Abb. 19 Bl. 6 u. 7), sinkt die Geschwindigkeit vom Spiegel aus und zwar selbst bei Tiefen, wo im hohlen Ufer bereits die größte Geschwindigkeit unter der Oberfläche liegt.

Bei Schieber 21 beträgt die Oberflächengeschwindigkeit 41 cm/Sek., die Sohlgeschwindigkeit 32 cm/Sek., bei Schieber 15 beträgt die Oberflächengeschwindigkeit 34 cm/Sek., die Sohlgeschwindigkeit 29 cm/Sek., bei Schieber 10 betragen beide 15 cm/Sek.

In der Lotrechten über dem Brink nehmen Oberflächen-, Sohl- und mittlere Geschwindigkeit mit wachsendem Wasserstand erst schnell, dann langsamer zu. Bei gleichen Wassertiefen auf dem Brink und in der Kurve, z. B. Schieber 15 und 7, 18 und 9 oder 21 und 11, sind die Geschwindigkeiten über dem Brink merklich größer; bei gleichen Wasserständen kleiner. Je tiefer der Wasserstand, um so größer ist die Abweichung. Nur die Sohlgeschwindigkeit wird für die höheren Wasserstände über dem Brink und in der Kurve gleich. Die mittleren Geschwindigkeiten des Gesamtquerschnitts bei den verschiedenen Wasserständen betragen etwa 10 bis 12 cm weniger als die in der Lotrechten der größten Tiefe und verlaufen geradlinig wie diese.

Es ist auch versucht worden, den Beiwert c der Geschwindigkeitsformel $v = c\sqrt{R} \cdot \sqrt{J}$ hieraus zu berechnen; das Ergebnis ist gleichfalls in Abb. 22 Bl. 6 u. 7 dargestellt. Das Gefälle ist dabei über die ganze im Stromstrich 13,7 m lange Strecke gemittelt; für die Berechnung des Querschnittshalbmessers ist der Spiegel in der mittleren Höhe des Quergefälles angenommen; dadurch kommen Ungenauigkeiten in die Rechnung. Die Werte c ordnen sich mit Ausnahme von dem für Schieber 7 ziemlich gut nach einer schwach gekrümmten Kurve; zwischen Schieber 8 und Schieber 21, d. h. im Modellmaßstab zwischen N.W. und H.W. schwanken sie von 37,8 bis 48,2. Sie nehmen ein klein wenig schneller zu als der Wasserstand. Der Wert von n der Formel von Ganguillet und Kutter

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

wird auffällig gering, nämlich 0,0011 bis 0,0009; sie gilt offenbar für so kleine Werte von R nicht mehr.

2. Bei der Messung mit Grundswellen im Zwischenfeld sind die lotrechten Geschwindigkeitskurven der Lotrechten der größten Tiefe (Abb. 12 Bl. 6 u. 7) für die größeren Wassermengen fast lotrechte Gerade. Etwas über der Höhe der Grundswellenkronen biegt die Linie dann zur Nullachse um, wird etwas unterhalb der Grundswellen negativ und bleibt so bis zur Sohle. Dieser negative Teil bezeichnet den Wirbel im Felde. Die negative Geschwindigkeit ist im allgemeinen etwa 10 bis 15 cm/Sek., beim höchsten H.W. (Schieber 21) steigt sie bis auf rd. 31 cm/Sek., die größte positive ist rd. 40 cm/Sek.

Bei der Messung über der Grundschwelle (Abb. 14 Blatt 6 u. 7) steigt die Geschwindigkeit für die höheren Wasserstände stetig von der Oberfläche an bis dicht über die Krone zum Betrage von rd. 45 cm/Sek. bei Schieber 21; an der Oberfläche ist sie etwa ebenso wie zwischen den Schwellen rd. 40 cm/Sek.; bei mittleren Wasserständen wird die Oberflächengeschwindigkeit über den Schwellen größer als zwischen den Schwellen; die Linie der lotrechten Geschwindigkeit wird eine Senkrechte. Bei Schieber 15 beträgt die Oberflächengeschwindigkeit z. B. 35 bzw. 32 cm/Sek. Für die kleinen Wasserstände nimmt der Unterschied der Messung zwischen und neben der Schwelle noch mehr zu; z. B. beträgt für Schieber 8 die Geschwindigkeit 20 bzw. 15 cm/Sek.; die größte Geschwindigkeit liegt in der Oberfläche.

Das Quergefälle ist bei höheren Wasserständen deutlich ersichtlich, bei den niedrigsten verschwindet es. Es stimmt mit dem rechnermäßigen ziemlich überein, wenn man die Oberflächengeschwindigkeit in die Formel einführt: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{r \cdot g}$.

Das Längsgefälle ist bei der Messung mit Schwellen in der Gegend der Messung — das ist im Scheitel der Krümmung — am stärksten ausgeprägt, besonders bei kleinen Wassermengen; bei der Messung ohne Schwellen ist das Gefälle dagegen im Scheitel der Krümmung kleiner als sonst; hierin spricht sich wohl die Wirkung der Kolkbildung aus.

Die Versuche mit Buhnen im hohlen Ufer haben dargetan, daß die Neigung zur Verlandung der Felder bei Buhnen mit 5 cm Kronenlänge sehr gering ist. Bei einer Länge von 15 cm ist sie deutlicher. Es bilden sich schwache Zungen von Kopf zu Kopf. Dagegen wirken Buhnen im ausbuchtenden Ufer sehr kräftig; sie verlanden bis zur Krone und geben vollständige Lehren für den Querschnitt. — Eine gleichzeitige Abgrabung des Brinkes gegenüber den Buhnen im hohlen Ufer wirkt günstig auf die Querschnittsgestaltung; die Größttiefen vermindern sich; in mittleren Breiten nimmt die Schiffbarkeit zu. Durch die Buhnen wird der Wasserstand bei gleicher Querschnittsgröße nicht wesentlich verändert, ohne Abgrabung dagegen etwas gehoben.

Schlußbemerkung.

Die an den beiden Wesermodellen gemachten Beobachtungen gestatten zwar vorerst noch nicht, eine ganz bestimmte Querschnittsgestalt als die richtigste für gegebene Verhältnisse hinzustellen, sie geben aber deutliche Fingerzeige hierfür und vor allem die Erklärung für gewisse Erscheinungen; die richtigen baulichen Maßnahmen sind hiernach leichter zu treffen. Die Versuche lenken schließlich die Aufmerksamkeit

auf manche Vorgänge, die sich in der Natur zunächst der Beobachtung entziehen. Dies bezieht sich besonders auf die Art der Wanderung der Geschiebe in Krümmungen infolge des vom hohlen Ufer nach dem ausspringenden zu gerichteten Grundstromes, und auf die Wirbelbewegungen bei Einbauten, wie Grundswellen und Buhnen, die an manchen Stellen Verlandungen erzeugen, an anderen verhindern. Ferner auf die Aufbereitung der Geschiebe der Flußsohle durch das Wasser in der Art, daß in der Tiefe sich nur das grübste Korn hält und dadurch die Sohle dort vor weiterer Austiefung einigermaßen schützt, während das feinere ausgespült, nach dem Brink getrieben wird und dort in geringen Tiefen noch wandert; wenn sich bei Hochwasser die Tiefenunterschiede mehr verwischen, gelangen auch die größeren Teile auf die Brinke und bilden dort Schichten im feineren Grundstock, wie auch am Strome beobachtet werden kann.

Die bisher durchgeführten Modellversuche ahmten einen Fluß mit beweglichem, aber in seiner Lage und Gestaltung wenig veränderlichem Sandbett nach. Daß die Modellversuche auch für Flüsse mit ganz anderem Charakter ein zutreffendes Bild geben können, ist durch eine begonnene Reihe mit Versuchen für die Weichsel erwiesen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung müssen einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben.

Versuche mit Stromflügeln.

Einleitung.

Die Untersuchungen über die Ursachen der Umlaufstörungen bei der Eichung von Stromflügeln und über die Form der Flügelkurven, die u. a. auch durch die Mitteilungen des Baurats Schmidt in Danzig und des Professors Dr. E. Schmidt in München im Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrg. 1897, S. 489 und 1898, S. 126, neu angeregt worden sind, haben ergeben, daß die Umlaufwerte guter Flügel zur Wassergeschwindigkeit im allgemeinen im geradlinigen Verhältnis stehen, wie auf S. 17 erwähnt worden ist. Nur in der Nähe des Koordinaten-Nullpunkts zeigt die aufgezeichnete Linie regelmäßig eine schwache Krümmung. Sonstige zuweilen bemerkte Abweichungen von der normalen Form und Richtung der Linie werden durch Störungen des Flügelumlaufs erzeugt, die in den besonderen Verhältnissen, unter denen die Eichung stattfindet, ihre Ursache haben. Solche Umlaufstörungen können bei den Messungen anders auftreten, als bei der Eichung, oder gänzlich fehlen, und es ist wichtig, zu ermitteln, wie groß die Fehler sind, die aus dieser Quelle für die Messung entstehen. Um hierfür eine Schätzung zu gewinnen, ist eine Reihe von Eichungen mit geeigneten Flügeln in der Versuchsanstalt vorgenommen worden und in Gruppen zusammengestellt, die den Einfluß der einzelnen Fehlerquellen soweit als möglich gesondert erkennen lassen.

Während die Frage, inwieweit die Querschnittsgröße der Eichrinne beziehungsweise des Wasserlaufs auf die Umlaufwerte von Einfluß ist, bisher in hiesiger Anstalt noch nicht untersucht werden konnte, wurde der Einfluß der Stangendicke und -form, der Art der Befestigung, der Tiefenlage des Flügels unter Wasser, der Schwingungen und der Durchbiegung der Stange, der Schiefstellung des Flügels in waagrechter und senkrechter Richtung, der Lagerung der Achse

der Kontakteinrichtung und dergleichen geprüft. Das Ergebnis dieser Untersuchungen soll in nachstehendem mitgeteilt werden. Die angehängten Zahlentafeln Nr. I bis XXX (S. 46 u. f.) enthalten die Werte eines Teils der benutzten Eichungen; die Atlasblätter 8 bis 10 und Text-Abb. 38 deren zeichnerische Darstellung. Hierzu ist zu bemerken, daß die gewöhnlich übliche Auftragung der sekundlichen Umdrehungszahlen n als Abszissen und der Geschwindigkeiten v als Ordinaten die geringen Abweichungen von der Geraden nicht genügend erkennen läßt. Deutlicher sichtbar werden die Eigenschaften der Flügelkurve, wenn man die Unterschiede $\Delta v = v - v''$ der Beobachtungen v von den Näherungswerten $v'' = \beta \cdot n$ als Ordinaten zu der Geschwindigkeit v (oder auch zu der Um-

letzten drei Fällen ganz gleich, nur der Stau ist der Dicke entsprechend verschieden.

Die Flügelachse lag jedesmal nur 0,40 m unter dem Wasserspiegel, damit die Stange möglichst wenig sich durchbiegt und schwingt, also die reine Stauwirkung möglichst ungestört zum Ausdruck kommt. Die niedrigsten und höchsten Geschwindigkeiten der Eichungen stimmen fast überein, ebenso die Geschwindigkeitsstufen und die Zahl der Fahrten.

Als Gleichungsform ist eine Gerade über den ganzen Meßbereich angenommen, da es hier nur auf den Vergleich ankommt.

b) Ergebnisse. Die Einzelheiten der Eichungen und ihre Ergebnisse sind nachfolgend zusammengestellt:

Nr.	Datum der Eichung	Flügel befestigt an	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der geraden Linie über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
I	28. 1. 05	1 Drahtseil	0,090	4,310	41	$0,0140 + 0,4989 \cdot n$	7,3
II	31. 1. 05	5 Drahtseilen und wagerechter Stange	0,079	4,505	41	$0,0052 + 0,5012 \cdot n$	7,2
III	7. 4. 05	lotrechter Stange 26 mm Durchmesser	0,073	4,310	38	$0,0080 + 0,5069 \cdot n$	6,4
IV	20. 1. 05	" " 45 " "	0,078	4,375	40	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	6,8
V	13. 4. 05	" " 75 " "	0,073	4,425	38	$0,0102 + 0,5105 \cdot n$	6,7
VI	12. 4. 05	" " 110 " "	0,071	4,237	40	$0,0123 + 0,5165 \cdot n$	6,4

drehungszahl n) aufzeichnet. Der Wert β entspricht dabei in rundem Maß der Ganghöhe der Flügelschraube. Außer den Einzelwerten Δv ist auch die der gemittelten Geraden $v' = a + b \cdot n$ entsprechende Gerade in die Darstellung eingetragen als $v' - v'' = w = a + (b - \beta) \cdot n$.

1. Gruppe von Vergleichseichungen.

Der Einfluß der Stangendicke und des Stangenstaues.

a) Beschreibung der Versuche. Der Flügel Nr. 385 Schaufel 2 (A. Ott) ist geeicht worden:

- I. am Drahtseil freischwebend,
- II. an wagerechter Stange mit fünf Drähten befestigt,
- III. an senkrechter Stange von 26 mm Stärke,
- IV. " " " " 45 " "
- V. " " " " 75 " "
- VI. " " " " 110 " "

Text-Abb. 17 zeigt diesen zu vielen Vergleichseichungen gebrauchten Flügel. Die zum Führungskörper passende Stange ist ein 45 mm dickes Stahlrohr mit aufgeschraubter Stahl-

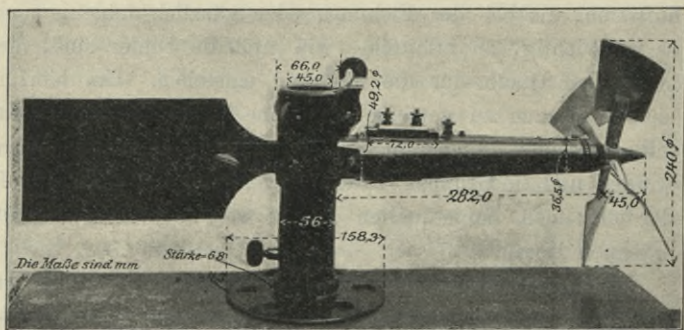


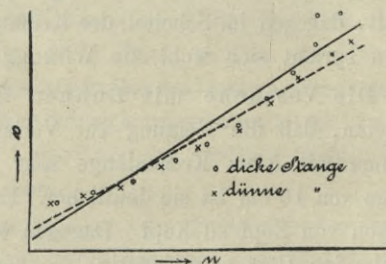
Abb. 17. Flügel 385 Schraube 2 (A. Ott).

leiste. Bei der dünneren Stange wurden in den Führungskörper Holzfutter eingelegt; die Stärke von 75 bzw. 110 mm wurde durch eine äußere Holzschale um die 45 mm starke Stange hergestellt; die Steifigkeit der Stange ist also in den

Die Darstellung Abb. 3 Bl. 8 zeigt, daß die Punkte am Koordinatenanfang sehr nahe zusammenfallen. Die geringen Abweichungen sind scheinbar regellos; von etwa 0,25 m/Sek. ordnen sich die Punkte in der Reihenfolge der Zählung der Vergleichseichungen I bis VI und ihre Unterschiede werden immer größer. Eine merkliche Zunahme der Krümmung mit wachsender Stangenstärke tritt nicht ein. Als Näherungsgerade ist $v'' = 0,5 \cdot n$ angenommen.

Die Geraden, welche aus den Einzelwerten gemittelt sind, werden mit wachsender Stangenstärke immer steiler; die wirklichen Meßpunkte liegen in einer ganz schwachen

Abb. 18. Umlaufwerte bei dicker und dünner Stange (schematisch).



Krümmung, deren Hohlseite nach der v -Achse zu weist und die mit wachsender Stangendicke stärker wird; gemäß der Art, wie Abweichungen der Einzelwerte der Beobachtungen von der Geraden $v' = a + b \cdot n$ die Festwerte a und b bei der Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate beeinflussen, bewirken die Punkte der höheren Geschwindigkeit, daß sich die Linie steiler stellt und gleichzeitig parallel nach unten verschoben wird, d. h. daß b zunimmt und a abnimmt (Text-Abb. 18). Tatsächlich wird allerdings die Schwankung des sehr kleinen Gliedes a durch die zufälligen Fehler der Messungen und die Schwankungen des Hauptgliedes b so beeinflusst, daß das Gesetz der Abnahme von a nicht rein zur Erscheinung kommt. Deutlich tritt es jedoch hervor, wenn eine Einzelseichung betrachtet und bei dieser die Gerade für einzelne Strecken, z. B. unter Hinweglassung der ersten Fahrten, berechnet wird. Die folgende Zusammenstellung zeigt dies:

Eichung Nr.	I	II	III	IV	V	VI
Gleichung für $v = \infty,07$ bis $v = 4,3$	$0,0140 + 0,4989 \cdot n$	$0,0052 + 0,5012 \cdot n$	$0,0080 + 0,5069 \cdot n$	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	$0,0102 + 0,5105 \cdot n$	$0,0123 + 0,5165 \cdot n$
Gleichung für $v = 0,50$ bis $v = 4,3$	$0,0113 + 0,4995 \cdot n$	$-0,0005 + 0,5023 \cdot n$	$0,0024 + 0,5081 \cdot n$	$0,0166 + 0,5069 \cdot n$	$0,0064 + 0,5113 \cdot n$	$0,0086 + 0,5173 \cdot n$

Die aus den Gleichungen für bestimmte Umdrehungszahlen n berechneten Geschwindigkeiten v' sind in Text-Abb. 19 als Ordinaten zu den Stangendurchmessern aufgetragen. Das einfache Drahtseil (Fall I) ist mit 6 mm Stärke angenommen,

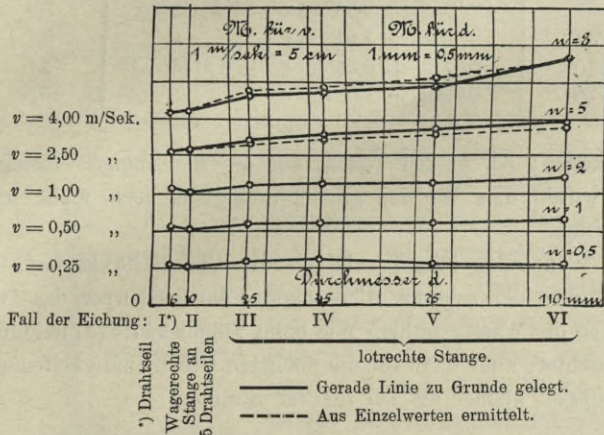


Abb. 19. Änderung der zur Erzielung einer bestimmten Umdrehungszahl n erforderlichen Geschwindigkeit mit der Stangen- bzw. Drahtseilstärke d geordnet nach verschiedenen n .

bei der wagerechten Stange (Fall II) sind die beiden vorderen in der Nähe des Flügels befindlichen Drahtseile mit $2 \times 5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$ angenommen (Text-Abb. 20).

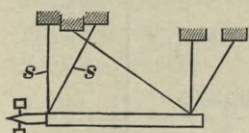


Abb. 20. Flügel an wagerechter Stange.

Bei etwa $n = 0,5$, $v = 0,25$ ist die Zunahme der zur Erzeugung gleicher Umdrehungen erforderlichen Geschwindigkeit sehr gering und etwas unregelmäßig. Sie beträgt vom einfachen Drahtseil I ($d = 6 \text{ mm}$) bis zur stärksten Stange VI ($d = 110 \text{ mm}$)

nur etwa 7 mm (2,8 vH.).

Bei $n = 1$, $v = \infty,07$ ist sie ziemlich gleichmäßig und steigt regelmäßig mit dem Durchmesser, in den Grenzfällen I und VI um etwa 16 mm (3,2 vH.).

Bei $n = 2$, $v = \infty,10$ m/Sek. gilt das gleiche; die Steigerung von I zu VI beträgt $\sim 33 \text{ mm}$ (3 vH.).

Bei $n = 5$, $v = \infty,25$ m/Sek. beträgt die Zunahme der Geschwindigkeit zwischen I und V 54 mm (2,2 vH.), zwischen I und VI 86 mm (3,4 vH.).

Bei $n = 8$, $v = \infty,40$ m/Sek. ist die Steigung noch ausgesprochenener; zwischen I und V beträgt die Zunahme 89 mm (2,2 vH.), zwischen I und VI 156 mm (3,9 vH.).

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich, wenn die Flügelgerade zwischen $v = \infty,50$ und 4,3 m/Sek. eingeführt, und auch, wenn aus den dem betreffenden Werte von n benachbarten Einzelfahrten die Geschwindigkeit v unmittelbar ermittelt wird. Im letzteren Falle werden die Unterschiede nicht ganz so stark, sind aber natürlich mehr mit den Zufälligkeiten der beiden Nachbarwerte für das betreffende n behaftet. Da bei der Verwendung der Flügel die Gleichungen, nicht die Einzelwerte zugrunde gelegt werden, so sind obige Werte maßgebend.

c) Schlussergebnis. Der Stangenstau des Flügels Nr. 385^{II} wirkt bei 0,75 m freier Länge und 0,40 m Flügeltiefe hemmend auf den Flügelumlauf. Die Störung nimmt bis zu höheren Geschwindigkeiten (3,5 m/Sek.) fast gleichmäßig mit der Stangenstärke zu. Bei den höchsten Geschwindigkeiten wächst sie schneller als die Stangenstärke. Die Unterschiede der angezeigten Geschwindigkeiten sind immerhin so groß — bis rd. 4 vH. —, daß es notwendig erscheint, beim Eichen gleich starke Stangen wie beim Messen zu verwenden, andernfalls, wenn Stangen von sehr verschiedener Stärke nicht zu vermeiden sind, oder dieselbe Schraube sowohl am Drahtseil, als auch an der Stange benutzt werden soll, besondere Eichungen vorzunehmen.

Flügel von anderer Bauart, insbesondere solche, welche nahe an der Stange sitzen, haben wahrscheinlich noch größere Störungen.

Parallelversuche mit anderen Flügeln.

Auch bei einer Reihe von anderen Flügel wurde gelegentlich der Einfluß verschiedener Stangendicke und Befestigungsweise und mithin verschiedenen Staus beobachtet. So zum Beispiel bei zwei neuen Flügeln Nr. 761 Schraube 1 und 2 von A. Ott. Diese wurden an 45 mm dicker Stange, die noch 0,50 m aus dem Führungskörper vortrat, 1 m unter dem Spiegel und in gleicher Tiefe am einfachen Drahtseil geprüft. Die Ergebnisse zeigt folgende Zusammenstellung:

Flügel	Art der Befestigung	Geschwindigkeit m/Sek.		Zahl der Fahrten	Gleichung der Parabel und der Geraden $v =$	Mittlerer Fehler mm
		Niedrigste	Höchste			
Flügel 761 Schraube 1	an der Stange	0,068	0,596	14 +	$0,0234 + 0,4888 \cdot n + 0,0347 \cdot n^2$	2,6
		0,730	3,676	19 = 33		$-0,0065 + 0,5506 \cdot n$
	am Drahtseil	0,069	0,433	11 +	$0,0190 + 0,5127 \cdot n + 0,0046 \cdot n^2$	2,1
		0,485	4,000	24 = 35		$0,0007 + 0,5396 \cdot n$
Flügel 761 Schraube 2	an der Stange	0,048	0,430	13 +	$0,0204 + 0,4977 \cdot n + 0,0287 \cdot n^2$	3,3
		0,492	4,032	24 = 37		$0,0040 + 0,5454 \cdot n$
	am Drahtseil	0,063	0,538	14 +	$0,0305 + 0,4751 \cdot n + 0,0276 \cdot n^2$	4,1
		0,586	3,968	21 = 35		$-0,0084 + 0,5381 \cdot n$

Die Unterschiede in den Umdrehungszahlen zwischen Stange und Drahtseil sind in beiden Fällen proportional der Geschwindigkeit und betragen rd. 2 vH. bzw. 1,4 vH.

Ähnliches zeigt sich bei dem Flügel 135¹ und 132² (A. Ott), der auch am Drahtseil und an der Stange von 55 mm Durchmesser geeicht wurde.

spitzovalen. Dies beruht auf der verschiedenen Stauwirkung beider Stangen; die spitzovale wirft mit ihrer breiten offenen Vorderfläche einen starken Wasserstrahl nach vorn, welcher bei höheren Geschwindigkeiten den Flügel wohl zu beeinflussen imstande scheint. Trotz des größeren Durchmessers verursacht also die spitzovale Stange im allgemeinen kleine

Flügel	Art der Befestigung	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der Parabel und der Geraden $v =$	Mittlerer Fehler mm
Flügel 135 Schraube 1 Desgl.	an der Stange am Drahtseil	0,104	3,922	36	$0,0070 + 0,2444 \cdot n$	4,9
		0,097	4,255	37	$0,0129 + 0,2402 \cdot n$	8,3
Flügel 135 Schraube 2 Desgl.	an der Stange am Drahtseil	0,125	3,937	37	$0,0086 + 1,0438 \cdot n$	4,7
		0,099	0,402	10	$0,0732 + 0,6508 \cdot n + 0,5144 \cdot n^2$	5,0
		0,462	4,098	28	$0,0024 + 1,0228 \cdot n$	3,5

Der Flügel 106^A und 106^B (A. Ott) wurde frei am Drahtseil schwebend, an 59 mm starker runder, hohler Stahlstange mit äußerem Führungskörper und an spitzovaler hohler Stahlstange von 150 mm Durchmesser mit innerem Führungskörper geprüft. Bei 106^B trug die spitzovale Stange eine Grundplatte. Die Tiefe unter dem Spiegel war immer 1 m. Das Ergebnis ist in der nachstehenden Zusammenstellung und der Abb. 4 u. 6 auf Bl. 8 enthalten.

Störungen; bei großen Tiefen, für die die Stange bestimmt ist, würde dies bei der großen Steifigkeit noch mehr hervortreten.

Wenn der Flügel nahe an die Oberfläche kommt, so verhindert der scharfkantige innere Führungskörper das Aufwerfen des Wasserstrahls. Wie beim Flügel 247^A (Aluminium) beobachtet, sind dann für die höchsten Geschwindigkeiten die Störungen kleiner als bei tieferer Stellung.

Flügel	Befestigung	Datum der Eichung	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichungen	Mittlerer Fehler mm
106 ^A	am Drahtseil	12. 2. 04	0,106	0,512	7	$v = 0,0264 + 0,4331 \cdot n + 0,0248 \cdot n^2$	1,7
			0,512	3,623	12	$v = 0,0039 + 0,4774 \cdot n$	3,6
"	an 59 mm starker runder Stange	11. 2. 04	0,084	0,484	7	$v = 0,0219 + 0,4463 \cdot n + 0,0272 \cdot n^2$	4,3
			0,484	4,237	14	$v = 0,2136 + 0,4844 \cdot n$	2,2
"	an 150 mm starker spitzovaler Stange	23. 2. 05	0,074	0,550	14	$v = 0,0434 + 0,3864 \cdot n + 0,0652 \cdot n^2$	3,9
			0,550	3,497	24	$v = 0,0039 + 0,4877 \cdot n$	5,6
106 ^B	am Drahtseil	Nov. 04	0,11	0,49	7	$v = 0,0355 + 0,8146 \cdot n + 0,1869 \cdot n^2$	—
			0,49	4,39	14	$v = 0,0148 + 0,9591 \cdot n$	12,3
"	an 59 mm starker runder Stange	Nov. 04	0,10	0,50	7	$v = 0,0368 + 0,9265 \cdot n + 0,0322 \cdot n^2$	—
			0,50	3,88	12	$v = 0,0266 + 0,9779 \cdot n$	6,3
"	an 150 mm starker spitzovaler Stange	23. 2. 05	0,066	0,427	11	$v = 0,0390 + 0,7946 \cdot n + 0,2729 \cdot n^2$	4,6
			0,427	3,521	25	$v = -0,0066 + 0,9953 \cdot n$	5,5

Die Flügel 106^A und 106^B laufen am Drahtseil merklich leichter als an der Stange (vgl. Abb. 4 u. 6 Bl. 8). Nach der gemittelten Parabel für die kleinen Geschwindigkeiten und der Geraden für die größeren beträgt die Abweichung der zu gleichen Umlaufzahlen erforderlichen Geschwindigkeit zwischen der dünnen runden Stange und am Drahtseil bei

106^A

bei $n = 0,5$ oder $v = \sim 0,25$ m/Sek. 26 mm/Sek. = 0,1 vH.
„ $n = 1,0$ „ $v = \sim 0,48$ „ 11 „ = 2,3 „
„ $n = 1,2$ „ $v = \sim 0,58$ „ 18 „ = 3,1 „
„ $n = 8,0$ „ $v = \sim 3,80$ „ 66 „ = 1,7 „

106^B

bei $n = 0,1$ oder $v = \sim 0,12$ m/Sek. 11 mm/Sek. = 9,2 vH.
„ $n = 0,5$ „ $v = \sim 0,49$ „ 19 „ = 3,9 „
„ $n = 0,6$ „ $v = \sim 0,60$ „ 23 „ = 3,8 „
„ $n = 4,0$ „ $v = \sim 3,90$ „ 86 „ = 2,2 „

An der runden Stange laufen die Flügel bis etwa 2,20 m/Sek. etwas schwerer, dann etwas leichter als an der

Der Flügel 247^A (Aluminium) wurde an spitzovaler 150 mm dicker, 1,70 m langer Stange 1 m unter dem Spiegel einmal ohne, einmal mit Grundplatte geeicht (vgl. Abb. 2 Bl. 8). Er lief mit der Grundplatte ein klein wenig leichter.

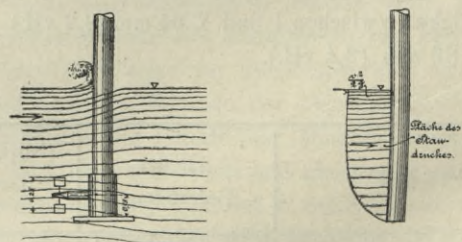


Abb. 21. Richtung der Stromfäden.

Dann wurde derselbe Flügel mit der Platte in 0,22 m Tiefe und in 1,50 m Tiefe unter dem Spiegel geprüft; die Stange war wiederum 1,70 m lang und reichte mit 1,50 m ins Wasser; er lief bei Geschwindigkeiten über 1 m/Sek. in 0,22 m Tiefe leichter als in den beiden andern Stellungen; bei Geschwindig-

keiten unter 1 m/Sek. leichter als in 1,50 m Tiefe. In 1 m Tiefe lief er bei Geschwindigkeiten über 1,50 m/Sek. am schwersten. Die Unterschiede sind jedoch sehr klein und scheinen mehr zufällige als gesetzmäßige Abweichungen darzustellen.

Ein Amslerscher Flügel Nr. 168 (Abb. 1 u. 7 Bl. 8) zeigte bei der Befestigung an wagerechter mit fünf Drähten gehaltener Stange und an lotrechter Stange nur sehr geringfügige Unterschiede; durch ein 0,40 m langes Zwischenstück war hier der Flügel aus dem Bereich der Stauwirkung entfernt.

2. Gruppe von Vergleichseichungen.

Der Einfluß der Tiefenlage des Flügels unter dem Wasserspiegel bei entsprechend wechselnder Stangenlänge.

A. Versuche mit Flügel Nr. 385² (A. Ott).

a) Beschreibung der Versuche. Bei den ersten zu dieser Gruppe gehörigen sieben Eichungen war der Flügel Nr. 385² (Ott) an der 45 mm starken Stange so befestigt, daß der 56 mm starke Führungskörper auf der Grundplatte aufstieß. Die Stange schnitt mit der Grundplatte ab. Die Befestigung der Stange am Wagen war stets die gleiche (Text-Abb. 22). Nur beim letzten Versuch dieser Reihe, XII, wurde die Grundplatte unten durch zwei Drahtseile gegen den Wagen versteift (Text-Abb. 23), weil die Stange beim vorhergehenden Versuch XI bei $v = 3,5$ m/Sek. an der Einspannungsstelle durch Einknicken der Rohrwand sich verbogen hatte. — Die Mindest- und Höchstgeschwindigkeiten sind auch hier wieder möglichst gleich gewählt, ebenso die Geschwindigkeitsstufen und die Zahl der Fahrten.

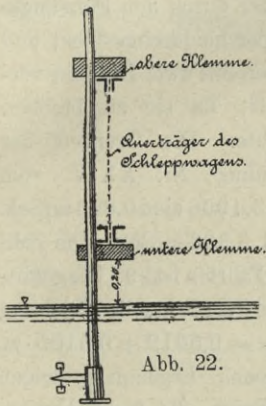


Abb. 22.

Die Krümmung der wahren Linie ist bei größeren Stangenlängen merklich, trotzdem ist der Rechnung eine Gerade über den ganzen Meßbereich zugrunde gelegt, um einen einfachen Vergleich zu gestatten.

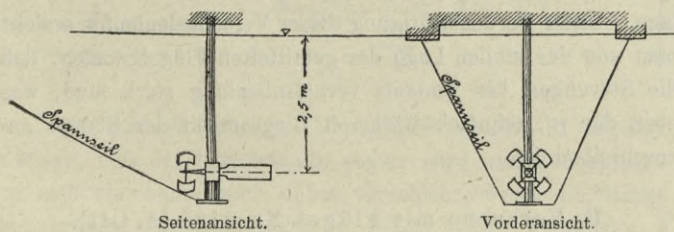


Abb. 23. Versteifung der langen Flügelstange.

Die Krümmung der wahren Linie ist bei größeren Stangenlängen merklich, trotzdem ist der Rechnung eine Gerade über den ganzen Meßbereich zugrunde gelegt, um einen einfachen Vergleich zu gestatten.

b) Ergebnisse. Einzelheiten ergibt die Zahlentafel:

Nr.	Datum der Eichung	Flügelachse liegt unter dem Spiegel m	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der geraden Linie über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm	Bemerkungen
VII	25. 1. 05	0,25	0,077	4,288	41	$0,0186 + 0,5041 \cdot n$	6,8	
IV	20. 1. 05	0,40	0,073	4,375	40	$0,0196 + 0,5063 \cdot n$	6,8	
IV ^a	3. 2. 06	0,40	0,067	2,041	12	$0,0115 + 0,5082 \cdot n$	6,0	Kontrollfahrten.
VIII	30. 1. 05	1,00	0,089	4,487	39	$0,0146 + 0,5050 \cdot n$	4,8	
IX	11. 5. 05	1,50	0,087	4,425	38	$0,0149 + 0,5056 \cdot n$	4,3	
X	10. 5. 05	2,00	0,070	3,650	36	$0,0026 + 0,5094 \cdot n$	7,8	
XI	20. 2. 05	2,50	0,074	3,333	34	$0,0086 + 0,5190 \cdot n$	26,0	Bruch der Stange.
XII	11. 4. 05	2,50	0,075	4,348	39	$0,0023 + 0,5142 \cdot n$	19,7	Versteifung der Stange mit 2 Drahtseilen.

Aus der Abb. 5 Bl. 9 ist ersichtlich, daß die Punkte im allgemeinen in der Nähe des Nullpunktes zusammenfallen und sich mit wachsendem v immer mehr auseinanderziehen, so zwar, daß mit wachsender Tiefe des Flügels, d. h. also mit wachsender Stangenlänge, die Linie in zunehmendem Maße steiler wird. Die Linie hat bei den größeren Stangenlängen und den höheren Geschwindigkeiten eine deutliche Krümmung. Im Fall XII, wo die Stange unten durch Drahtseile verspannt wurde, nimmt die Krümmung mit wachsender Geschwindigkeit weniger zu als bei XI, während die Tiefenlage gleich ist. Der Versuch IV fällt hierbei ein wenig aus der Reihe der übrigen; die Störungen sind größer, als zu erwarten war, die Ursache ist nicht aufgeklärt. Eine zum Schluß angestellte Kontrolleichung IV^a, die jedoch nur bis 2 m/Sek. ausgedehnt wurde, zeigt bis zu dieser Geschwindigkeit geringere Umlaufstörungen als IV; sie fügt sich also besser in die Reihe ein.

Die Zunahme der Krümmung und entsprechend die Zunahme der Störung des Umlaufs ist bei dieser Versuchsreihe der wachsenden Schrägstellung des Flügels in der Lotrechten infolge der Durchbiegung der Stange und der wachsenden Schwingung der Stange zuzuschreiben. Außer dieser Krümmung besteht, wie auch bei der ersten Gruppe der Vergleichseichungen, noch die leichte Krümmung bei den allerkleinsten Geschwindigkeiten, welche darauf zurückzuführen ist, daß die Reibung beim Übergang aus der Ruhe in die Bewegung etwas abnimmt. Bei den verschiedenen Tiefenlagen ist die Abweichung von der Geraden etwas verschieden, doch sind die Unterschiede bis etwa $v = 2,50$ m sehr klein, so daß sie teilweise zufällige Fehler bedeuten; eine gewisse Neigung zu leichterem Lauf in größerer Tiefe scheint indessen vorhanden.

Schließlich wurde noch eine weitere Abweichung vom Verlauf der theoretischen geraden Linie bei mittleren Geschwindigkeiten und geringer Stangenlänge beobachtet, nämlich jener wellenförmige Verlauf der Umlaufwerte, welcher vom Oberingenieur Dr. Epper bei seinen Eichungen im Eidgenössischen hydrometrischen Bureau in Bern sowie auch in der Münchener und Wiener Prüfungsanstalt in so deutlicher Weise festgestellt wurde; allerdings tritt diese Ausbuchtung in Berlin in sehr viel kleinerem Maßstabe auf, so daß die Abweichung kaum den mittleren Beobachtungsfehler überschreitet.

Die Abb. 7 Bl. 9 zeigt das Verhalten des Flügels im Berner und im Berliner Kanal, und zwar am Drahtseil, an der wagerechten und an der lotrechten Stange. In jedem Fall liegen die Umlaufwerte bis zu mittleren Geschwindig-

keiten dicht beieinander, bei höheren tritt die Ausbuchtung im Berner Kanal stark hervor, und zwar am meisten an der lotrechten Stange; bei den höchsten Geschwindigkeiten nähern sich die Berner Werte den Berlinern wieder. Dieses Verhalten ist auch bei zwei andern Schrauben desselben Flügels zu erkennen. Werden die zwischen den mittleren und höchsten Geschwindigkeiten liegenden Punkte der Berner Eichungen bei der Berechnung der Flügelgeraden ausgeschaltet, so stimmen die Ergebnisse beider Anstalten genügend überein.

Abb. 5 Bl. 9 und Text-Abb. 24 zeigen den Verlauf gegenüber der gemittelten Flügelgeraden und die Abweichungen

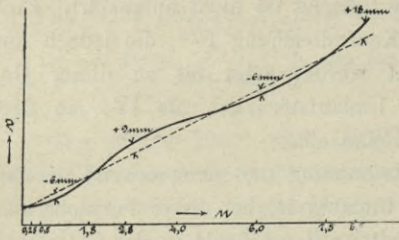


Abb. 24. Umlaufwerte in 0,20 m Tiefe der Flügelachse unter dem Spiegel.

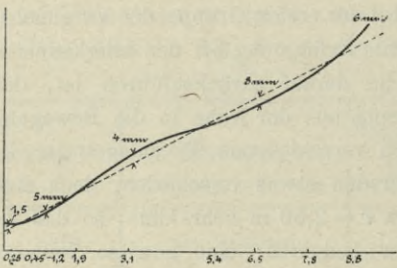


Abb. 25. Umlaufwerte in 1 m Tiefe der Flügelachse unter dem Spiegel.

Dies erscheint durchaus zutreffend, denn in tieferer Lage des Flügels verschwindet bei diesen Eichungen die Ausbuchtung. Sie ist also eine Erscheinung bei Messungen in der Nähe der Wasseroberfläche und reicht nicht weit in die Tiefe. Bei Eichung VIII mit 1 m Tiefenlage des Flügels unter dem Spiegel hat die Welle die in Abb. 5 Bl. 9 und Text-Abb. 25 dargestellte Form; sie verschwindet also fast unter den zufälligen Messungsfehlern. Die Stellung 1 m unter dem Spiegel wird als normale bei den Eichungen in der Berliner Anstalt angenommen. Daß die Ausbuchtung im Berner Eichungskanal so vielfach größer erscheint, muß wohl seinen kleineren Abmessungen zugeschrieben werden (Abb. 7 Bl. 9). Diese Frage hat insofern praktische Bedeutung, als in ganz engen Flußläufen (Mühlgräben u. dgl.) ähnliche Abweichungen der gemessenen Geschwindigkeit von der wahren auftreten werden; hierdurch könnte die im weiten Kanal vorgenommene Eichung für kleine Flußläufe für manche Geschwindigkeiten zu große, für manche zu kleine Ergebnisse liefern. Der Wasserquerschnitt des Berliner Versuchskanals kann als „freies Wasser“ angesehen werden.

Werden die über den ganzen Meßbereich gemittelten Geraden statt der Einzelwerte in Betracht gezogen, so zeigt sich, daß die Linie mit wachsender Tiefe des Flügels immer steiler wird (nur IV fällt auch hier ebenso wie bei den Einzelwerten [s. S. 35] aus der Reihe); sie wird durch die Punkte der höchsten Geschwindigkeit stark aufgerichtet.

Die aus den Gleichungen für gleiches n berechneten Geschwindigkeiten ergeben für geringe Umdrehungszahlen ziemlich gleiche unregelmäßig schwankende Werte v' , für höhere Umdrehungszahlen Werte v' , die mit der Tiefenlage stark steigen, z. B. für

	VII	VIII	IX	X	XI
$n = 6$	3,043	3,045	3,050	3,059	3,105

Trägt man diese Werte als Ordinaten zu den Tiefenlagen als Abszissen auf (Text-Abb. 26), so findet sich das starke Steigen des zu einem bestimmten n erforderlichen v' , d. h. der Störungen. Der Unterschied zwischen den beiden Grenzfällen VII und XI beträgt 2 vH.

Auf den Einfluß, den die Steifigkeit der Stange auf die Umlaufwerte hat, wird auch noch durch folgenden Versuch mit einer hölzernen Stange von 45 mm Durchmesser Licht geworfen. Der Flügel stand 0,40 m unter dem Spiegel, die

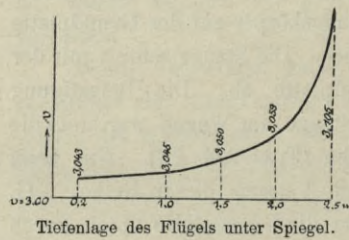


Abb. 26. Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefenlage und Stangenlänge bei $n = 6,00$.

Stange war noch 1,85 m weiter durch den Führungskörper hindurchgesteckt und unten mit zwei Drähten versteift, da sie zu brechen drohte. Die Grenzen der Eichung Nr. XXIV vom 27.3.1906 sind 0,086 m/Sek. und 3,906 m/Sek. Die Zahl der Fahrten ist 29. Die gemittelte Gerade hat die Gleichung $v = -0,0012 + 0,5195 \cdot n$.

Die in Abb. 3 Bl. 9 aufgetragenen Ergebnisse zeigen die merkliche Krümmung der Flügelkurve, die besonders für die größeren Geschwindigkeiten hervortritt.

Einen unmittelbaren Vergleich mit einem der Versuche mit Eisenstange kann man nicht ziehen, teils wegen der Verspannung der Stange, teils wegen der verschiedenen Tiefenlage. Unter Berücksichtigung dieser Verschiedenheiten ersieht man aus der steilen Lage der gemittelten Flügelgeraden, daß die Störungen des Umlaufs verhältnismäßig stark sind, was eben der rd. zehnfach stärkeren Biegsamkeit der Stange zuzuschreiben ist.

B. Versuche mit Flügel Nr. 279² (A. Ott).

Daß wirklich die Schwingung und Schiefstellung des Flügels eine Störungsursache für den gleichmäßigen Umlauf ist, ergibt sich ohne allen Zweifel aus den folgenden Versuchen mit Flügel Nr. 279² (A. Ott), bei welchen nichts als die Befestigungshöhe des Flügels über Wasser, also die freie Länge der Stange wechselte; bei sonstigen dahin zielenden Versuchen waren noch gewisse andere Umstände jeweilig gleichzeitig geändert, so daß es, wenn auch nach anderen Versuchsreihen sehr unwahrscheinlich, doch nicht völlig ausgeschlossen erschien, daß andere Ursachen allein oder im Verein mit den Schwingungen und der Schiefstellung die Störungen hervorgerufen haben, welche die Gleichungen anzeigen. So war bei den Wiener Versuchen (s. Seite 39), welche in Abb. 3 Bl. 10 dargestellt sind, die Kanaltiefe und Breite gleichzeitig mit der eingetauchten Stangenlänge geändert, bei den hiesigen mit Flügel Nr. 385² (A. Ott) war die Tiefenlage unter dem Spiegel und der Gesamtdruck des Wassers verändert. Alles dies fällt bei den Versuchen mit Flügel

Nr. 279² (A. Ott) weg. Sie sind gelegentlich einer Untersuchung angestellt, ob es in dem hiesigen Kanal zulässig ist, zur Ersparnis von Zeit und Kosten zwei Flügel gleichzeitig nebeneinander zu eichen.

Der Flügel läuft an einem 2,7 cm starken eisernen Rohr mit aufgesetzter Feder; wegen der Schwäche der Stange mußten sich die Störungen infolge der Schwingungen und der Schiefstellung hier besonders deutlich kennzeichnen, während die Stauwirkung fast verschwindet. Die Befestigungsweise, die freie Schwingungslänge und die Eichergebnisse sind wie folgt zusammengestellt:

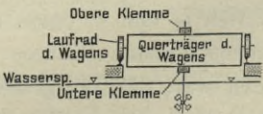
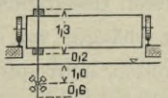
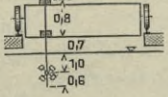
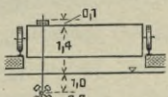
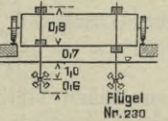
wenn eine Parabel für Geschwindigkeiten von 0,082 bis 0,521 m/Sek. angenommen wird:

$$v = 0,0208 + 0,4108 \cdot n + 0,0156 \cdot n^2, M = 4,1 \text{ mm}$$

und für die Gerade für Geschwindigkeiten von 0,521 bis 3,521 m/Sek.:

$$v = 0,0064 + 0,4414 \cdot n, M = 3,1 \text{ mm.}$$

In den Vergleichseichungen ist die Anfangsgeschwindigkeit auf rund 0,50 m/Sek. gelegt; wählt man diese auch für den Fall I, so erhält man die in der Zahlentafel XXVI angegebenen Beiwerte. Die Einzelwerte zeigen auch hier die Erscheinung, daß der Umlauf des Flügels bei kleinen Ge-

Nr.	Art der Befestigung	Freie Länge der Stange	Geringste und größte Geschwindigkeit v Zahl der Fahrten m	Gleichung der Geraden und mittlerer Fehler
I	 Abb. 27 I	1,80	$v \text{ min.} = 0,521$ $v \text{ max.} = 3,521$ $m = 18$	$v = 0,0064 + 0,4414 \cdot n$ $M = 3,1 \text{ mm}$
II	 Abb. 27 II	1,80	$v \text{ min.} = 0,494$ $v \text{ max.} = 3,906$ $m = 11$	$v = 0,0107 + 0,4404 \cdot n$ $M = 6,0 \text{ mm}$
III	 Abb. 27 III	2,30	$v \text{ min.} = 0,452$ $v \text{ max.} = 3,759$ $m = 11$	$v = -0,0097 + 0,4476 \cdot n$ $M = 7,8 \text{ mm}$
IV	 Abb. 27 IV	3,00	$v \text{ min.} = 0,496$ $v \text{ max.} = 3,106$ $m = 9$	$v = -0,0161 + 0,4510 \cdot n$ $M = 4,4 \text{ mm}$
V	 Abb. 27 V	2,30	$v \text{ min.} = 0,494$ $v \text{ max.} = 3,497$ $m = 11$	$v = -0,0075 + 0,4463 \cdot n$ $M = 5,7 \text{ mm}$

Die Gleichungen II, III und IV (Spalte 5) ergeben deutlich, daß die Flügelgerade steiler wird und sich parallel mit sich ein wenig nach unten verschiebt, wenn die Stange eine größere Schwingungslänge erhält. Die Eichungen I und II sowie III und V zeigen fast genau dieselben Festwerte, entsprechend dem Umstand, daß die Stangenlängen gleich waren; I und II unterscheiden sich nur durch die Lage der Stange am Wagen, III und V zeigen eine Einzelmessung und eine Doppelmessung. Die weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse im letzteren Fall beweist die Zulässigkeit der gleichzeitigen Eichung zweier Flügel.

In Abb. 6 Bl. 10 sind die fünf Eichungen in ihren Einzelwerten und den ermittelten Geraden und zwar der Deutlichkeit wegen wieder die Abweichungen der Werte v von der Näherungsgleichung $v'' = 0,44 n$, also $\Delta v = (v - v'')$ als Ordinaten zu den Werten v als Abszissen dargestellt.

Fall I ist als vollständige Eichung von der geringsten Geschwindigkeit von 0,082 m/Sek. bis zur höchsten für den Gebrauch in Frage kommenden von $v = 3,521$ m/Sek. durchgeführt; die Gleichung hierfür lautet, wenn eine Gerade auf die ganze Strecke angenommen wird:

$$v = 0,0091 + 0,4408 \cdot n, M = 4,2 \text{ mm,}$$

schwindigkeiten leichter ist, bei größeren dagegen schwerer, wenn die Schwingungslänge der Stange zunimmt.

Nebenbei ist zu bemerken, daß sich der mittlere Fehler der Eichung fast gar nicht vergrößert, wenn statt Parabel und Gerader eine einzige gerade Linie zugrunde gelegt wird. Sie schmiegt sich mit völlig ausreichender Genauigkeit den Beobachtungen an, gewiß ein Zeichen für die Brauchbarkeit des Flügels zu empfindlichen Messungen.

C. Versuche mit Flügel 287^I (A. Ott).

Beobachtungen über den Einfluß der Tiefenlage sind weiter an dem Flügel 287^I (A. Ott) angestellt; er wurde sowohl am Drahtseil als auch an 55 mm starker Stange in 0,15 m, 0,30 m, 0,50 m und 1 m Tiefe unter dem Spiegel geeicht. (Siehe nachstehende Zusammenstellung.)

Die Auftragung der Werte Δv (Abb. 2 Bl. 9) für die Eichung an der Stange zeigt wiederum, daß in Tiefen bis 0,50 unter dem Spiegel eine schwache Welle bei den Geschwindigkeiten von 1,50 bis 3 m/Sek. auftritt; am merklichsten ist sie bei der Tiefenlage von 0,30 m unter der Oberfläche. — Bei der normalen Eichung in 1 m Tiefe ist die Welle verschwunden, und die Linie liegt tiefer, d. h. die

Die Ergebnisse der Versuche mit Flügel 287^I (A. Ott):

Flügel	Befestigung	Datum der Eichung	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichungen	Mittlerer Fehler mm
A. Befestigung am Drahtseil.							
Nr. 287 ^I	Flügelachse: 0,15 m unter ∇	21. 11. 04	0,236	2,959	12	$v = 0,0140 + 0,5200 \cdot n$	4,4
	" 0,30 m " "	"	0,144	2,924	13	$v = 0,0266 + 0,5144 \cdot n$	15,4
	" 0,50 m " "	"	0,223	2,994	13	$v = 0,0154 + 0,5160 \cdot n$	5,2
	" 1,00 m " "	"	0,316	2,513	24	$v = 0,0082 + 0,5154 \cdot n$	3,4
B. Befestigung an senkrechter Stange.							
Nr. 287 ^I	Flügelachse: 0,15 m unter ∇	22. 11. 04	0,186	3,546	14	$v = 0,0077 + 0,5269 \cdot n$	12,9
	" 0,30 m " "	"	0,204	3,571	14	$v = 0,0088 + 0,5280 \cdot n$	16,3
	" 0,50 m " "	"	0,209	3,497	14	$v = 0,0061 + 0,5267 \cdot n$	13,9
	" 1,00 m " "	"	0,556	3,623	24	$v = 0,0056 + 0,5193 \cdot n$	4,3

Umlaufstörungen sind geringer. — Bei der Eichung am Drahtseil (Abb. 1 Bl. 10) erscheint die Welle überhaupt nicht; die Umlaufstörungen nehmen mit wachsender Tiefe etwas ab; nur bei den höchsten Geschwindigkeiten über 2,7 m/Sek. nehmen sie in 1 m Tiefe wegen der Schiefstellung des Seiles deutlich zu.

c) Schlussergebnis. Die Tiefenlage des Flügels als solche ist nicht von Einfluß auf seine Umdrehungszahl. Nur bei einer Lage dicht unter der Oberfläche macht sich bei mittleren Geschwindigkeiten im hiesigen Kanal eine sehr geringe, in engeren Kanälen eine größere wellenförmige Ausbuchtung der Meßpunkte gegen die gemittelte Flügelgerade bemerklich. Durch die Änderung der Stangenlänge und entsprechende Veränderung der Tiefenlage des Flügels tritt bei den höchsten Geschwindigkeiten eine mit der Stangenlänge und der Geschwindigkeit zunehmende Störung des Flügelumlaufs ein.

3. Gruppe von Vergleichseichungen.

Der Einfluß wechselnder Stangenlänge bei gleichbleibender Tiefenlage des Flügels unter dem Wasserspiegel.

a) Beschreibung der Versuche. Während bei der 2. Gruppe der Versuche der Flügel stets am Ende der Stange blieb und mit dieser in verschiedener Tiefenlage der Flügelachse geschleppt worden war, ist in der 3. Gruppe die Tiefenlage des Flügels unverändert geblieben und nur der Angriff auf die Stange durch Verlängerung des eingetauchten Stückes, also damit die Durchbiegung, die Schrägstellung und die Schwingung, allmählich wachsend gemacht worden, um den Einfluß der Schiefstellung des Flügels losgelöst von dem der Tiefenlage zu erkennen.

Die Tiefenlage der Flügelachse betrug stets 0,20 m unter dem Spiegel, die Stangenstärke 45 mm. Im übrigen wurden die Versuche gemäß den unter 1. und 2. genannten Grundsätzen ausgeführt.

b) Ergebnisse. Die Einzelheiten sind in folgender Zahlentafel enthalten:

Nr.	Datum der Eichung	Stangenlänge unter dem Wasserspiegel m	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der Geraden über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
VII	25. 1. 05	0,35	0,077	4,286	41	$0,0181 + 0,5041 \cdot n$	6,8
XIII	10. 4. 05	0,55	0,075	4,425	40	$0,0113 + 0,5083 \cdot n$	4,5
XIV	10. 4. 05	1,15	0,093	4,425	39	$0,0109 + 0,5095 \cdot n$	7,3
XV	11. 4. 05	2,65	0,075	4,462	40	$0,0042 + 0,5118 \cdot n$	7,3

Die aus den Werten n und v bzw. aus v und $\Delta v = v - 0,5 \cdot n$ zusammengesetzten Kurven (Abb. 4 Bl. 9) zeigen, wie zu erwarten war, daß für größere Geschwindigkeiten mit wachsender Stangenlänge die Störungen größer werden, für die mittleren Geschwindigkeiten sind die Umlaufwerte anscheinend unabhängig von der Stangenlänge; bei den kleinen Geschwindigkeiten läuft der Flügel bei kurzer Stange ein wenig schwerer als bei langer (Text-Abb. 28); die Unterschiede sind nur geringfügig. Eine Ursache für dies Verhalten konnte nicht gefunden werden; vielleicht kommt die zeitweilige Aufhebung der Lagerreibung durch die Erschütterungen, die bei langer Stange größer sind als bei kurzer, hier in Frage.

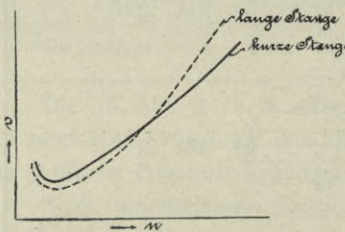


Abb. 28. Umlaufwerte bei langer und kurzer Stange.

Es wurde z. B. beobachtet, daß bei den allergeringsten Geschwindigkeiten Flügel an den Stromschlußstellen stehen bleiben; wenn jedoch an die Stange geklopft wird, so laufen sie über das Hindernis hinweg.

Die Ausbuchtung der Linie in der Gegend der mittleren Geschwindigkeiten ist am deutlichsten bei kurzer Stange, bei längerer verschwindet sie fast völlig.

Wenn wieder die gemittelten Geraden statt der Einzelwerte v und n in Betracht gezogen werden, so findet sich ebenso wie bei Gruppe 2, daß die Linie mit wachsender Länge der Stange immer steiler wird; ihr Schnittpunkt mit der v -Achse rückt immer tiefer, d. h. die scheinbare Anlaufgeschwindigkeit a wird immer kleiner.

Die aus der Gleichung berechneten Geschwindigkeiten sind bei kleinen Werten ziemlich gleich, für höhere Werte n steigt v' mit der Zunahme der Stangenlänge erst schnell, später langsamer, z. B.:

bei Versuch Nr. VII XIII XIV XV
 für $n = 6$ $l = 0,35$ $l = 0,55$ $l = 1,15$ $l = 2,65$
 (eingetauchte Stangenlänge)
 $v' = 3,043$ $3,061$ $3,068$ $3,075$ m/Sek.

Der Unterschied beträgt in den hier betrachteten äußersten Fällen etwa 1 vH.

Die Text-Abb. 29 zeigt die Zunahme von v' , wie sie sich aus den Eichungen ergibt, für $n = 6$.

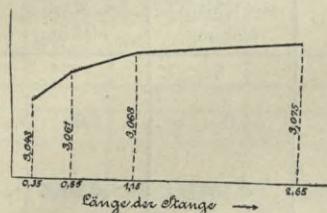


Abb. 29. Geschwindigkeit und Stangenlänge bei gleichbleibendem $n = 6$.

c) **Schlußergebnis.** Die durch größere Eintauchlänge der Flügelstange bei gleichbleibender Tiefenlage des Flügels unter dem Spiegel hervorgerufene stärkere Schwingung und Durchbiegung der Stange bewirkt bei geringen Geschwindigkeiten eine kleine Beschleunigung, bei den höheren

Geschwindigkeiten eine Verzögerung des Flügelumlaufs. Die Verzögerung nimmt bei dem untersuchten Flügel mit wachsender Stangenlänge zu, erst schnell, dann abnehmend langsamer.

Bemerkung. Auch bei Versuchen⁸⁾ des hydrographischen Zentralbureaus in Wien über den Einfluß von Kanalwandungen findet sich die Erscheinung wieder, daß der Flügel in größerer Tiefe bis zu mittleren Geschwindigkeiten leichter läuft als in geringer. Nach den mitgeteilten Ergebnissen (Tafel X, XVI und XVII der Wiener Veröffentlichung) beträgt der Unterschied bei 0,30 m, 0,60 m und 0,90 m Tauchtiefe — bei gleicher Gesamtlänge der Stange — für $n = 3,5$ oder $v = \sim 2,2$ m/Sek. zwischen 0,30 und 0,60 m Tiefe 3 cm, zwischen 0,60 m und 0,90 m Tiefe 4 cm. Die nach der hier üblichen Darstellung der Abweichungen der beobachteten Werte v von den Werten der Näherungsgleichung $v'' = 0,65 \cdot n$ sind in Abb. 3 Bl. 10 aufgetragen.

4. Gruppe von Vergleichseichungen.

Der Einfluß wechselnder Tiefe des Flügels bei gleichbleibender Stangenlänge.

a) Beschreibung der Versuche. Zum Vergleich kommen die vorher beschriebenen Einzelversuche

Nr. IV u. XIII mit etwa 0,55 m ^{eingetauchter Stangenlänge} u. 0,75 m Gesamtlänge
 „ VIII „ XIV „ „ 1,15 „ „ „ 1,35 „ „
 „ XI „ XV „ „ 2,65 „ „ „ 2,85 „ „

Die für den gesamten Meßbereich ermittelten Gleichungen werden hier nochmals zum Vergleich nebeneinander gestellt.

Stangenlänge $\sim 0,75$ m:

Nr. IV. Flügel $\sim 0,40$ unter Spiegel $v = 0,0194 + 0,5063 \cdot n$
 „ XIII. „ $\sim 0,20$ „ „ $v = 0,0113 + 0,5083 \cdot n$
 also $\delta \sim v_{IV} - v_{XIII} = +0,0081 - 0,0020 \cdot n$

Stangenlänge $\sim 1,35$ m:

Nr. VIII. Flügel $\sim 1,00$ unter Spiegel $v = 0,0146 + 0,5050 \cdot n$
 „ XIV. „ $\sim 0,20$ „ „ $v = 0,0109 + 0,5095 \cdot n$
 also $\delta = v_{VIII} - v_{XIV} = 0,0037 - 0,0045 \cdot n$

8) Vgl.: Über den Einfluß der Wandungen von Versuchskanälen auf die Umlaufwerte hydrometischer Flügel. Herausgegeben vom k. k. hydrograph. Zentralbureau. Wien 1899. Vom Oberbaurat Landa.

Stangenlänge $\sim 2,85$ m:

Nr. XI. Flügel $\sim 2,50$ unter Spiegel $v = -0,0089 + 0,5190 \cdot n$
 „ XV. „ $\sim 0,20$ „ „ $v = 0,0042 + 0,5118 \cdot n$
 also $\delta = v_{XI} - v_{XV} = -0,0131 + 0,0072 \cdot n$

Die angreifende Kraft ist jedesmal in beiden Vergleichsfällen gleich groß, nur der Angriffspunkt verschiebt sich etwas mit dem Flügel, weil der Führungskörper stärker als die Stange ist.

b) Die Ergebnisse sind unsicher, weil einige der verglichenen Eichungen mit Unregelmäßigkeiten behaftet sind; Eichung IV hat, wie oben erwähnt, wahrscheinlich zu große Umlaufstörungen, bei Eichung XI bewirkt die starke Krümmung der Flügelkurve ein Aufrichten der ganzen Linie. Man erkennt dies deutlich an den in Abb. 5, 6 und 7 Bl. 11 aufgetragenen Abweichungen der Einzelwerte von der Näherungsgleichung $\Delta v = v - 0,5 \cdot n$ als Ordinaten zu der Geschwindigkeit v . Im allgemeinen ergibt sich, daß unter den vorliegenden Verhältnissen der Flügel dicht unter dem Spiegel bei kleinen Geschwindigkeiten kleinere, bei größeren Geschwindigkeiten größere Umlaufstörungen erleidet, als wenn er in der Tiefe steht. Werden die Schwingungen der Stange und die Schiefstellung des Flügels erheblich, so erzeugt dies bei den höchsten Geschwindigkeiten in der Tiefe größere Störungen als nahe dem Spiegel. Bei diesem Verhalten ist zu berücksichtigen, daß in der höheren Lage der Flügel nur 0,20 m unter dem Spiegel gestanden hat, also der Wirkung der oberflächlichen Wellen ausgesetzt war.

Rechnungsmäßiger Vergleich.

Um von den Störungen des Flügelumlaufs bei der Eichung auf diejenigen bei der Messung unter Benutzung der gleichen Stange schließen zu können, muß bezüglich der Zunahme der Störungen mit der Zunahme der Schiefstellung des Flügels und der Schwingungen eine Annahme gemacht werden. Eine unmittelbare Feststellung dieses Gesetzes durch Versuche stößt deshalb auf Schwierigkeiten, weil bei der Eichung Schiefstellung und Schwingung in einem Sinne auftreten und in den Ergebnissen immer ihre Summenwirkung erscheint. Bei der Messung wirken Schiefstellung und Schwingung nicht immer zusammen. Die Schwingungen sind vielmehr in dem gewöhnlichen Fall einer auf Grund gesetzten Stange gerade da am größten, wo die Schrägstellung am kleinsten ist. Man wird trotzdem vielleicht nicht allzuweit fehlgehen, wenn man für die Größe der Umlaufstörung den Höchstwert der Durchbiegung der Stange infolge des auf ihr ruhenden Wasserdruckes als Maßstab annimmt. Die Berechtigung hierfür ergibt sich aus folgender Erwägung. Wird zunächst statt des Höchstwertes der Durchbiegung deren mittlerer Wert, d. h. Inhalt der Biegungsfläche geteilt durch die Stablänge, als Maßstab der Durchbiegung genommen, so ergeben sich ähnliche Verhältniszahlen für die einzelnen Befestigungsweisen, wie nachstehende Tabelle (Seite 40, Spalte 2 und 3) zeigt, deren Formeln aus Ingenieurs Taschenbuch „Hütte“ 1896, S. 358 u. ff. entnommen sind. Aber auch die Verhältniszahlen der mittleren Schrägstellung des Stabes, besonders in den wichtigeren Fällen B und C der Tabelle weichen von den Verhältniszahlen der größten Durchbiegungen nicht allzusehr ab; vgl. Spalte 2 und 4 der Tabelle Seite 40.

Die Schrägstellung in der Richtung nach oben und nach unten ist hierbei als gleichwirkend addiert, also die Scheide der Integration bei f_{max} angenommen. Daher erscheint die vereinfachende Annahme der größten Durchbiegung als Maßstab statthaft, zumal es sich doch nur um einen ungefähren Anhalt handeln kann. Denn noch eine ganze Reihe von

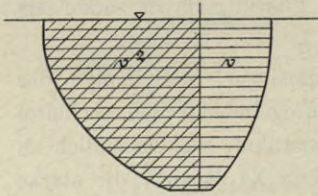


Abb. 30.

Umständen ist in der folgenden Ableitung nicht berücksichtigt. So zum Beispiel, daß der Wasserdruck im Fluß nicht wie bei der Eichung durch eine gleichmäßige Geschwindigkeit hervorgerufen wird, sondern nach der Sohle zu abnimmt (Text-Abb. 30), und zwar im quadratischen Verhältnis der Geschwindigkeiten; ferner, daß die Geschwindigkeiten nach der Zeit stark wechseln (Pulsationen) und auch in der Richtung nicht beständig sind (Wirbel).

Die Verhältniszahlen sind in der Text-Abb. 31 dargestellt. In nebenstehender Tabelle und in den folgenden Rechnungen bedeutet:

- E = Elastizitätsziffer.
- J = Trägheitsmoment des Stabes.
- l = ganze Länge.
- l' = eingetauchte Länge bis zur Einspannung.
- l'' = Länge von der Mitte des Führungskörpers bis zur Einspannung.
- $P = p \cdot l'$ = Wasserdruck auf den Stab.
- P'' = Wasserdruck auf den Flügel und Führungskörper.
- ξ, ψ = Zahlenwerte.
- γ = Einheitsgewicht des Wassers.
- g = Erdbeschleunigung.
- t = Tiefenlage der Flügelachse unter Wasserspiegel.
- d = Stangendurchmesser.

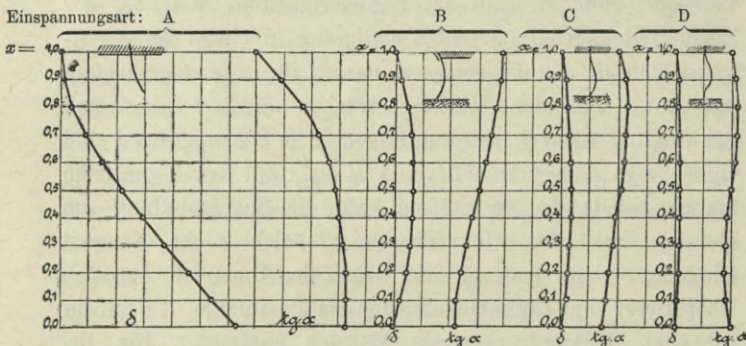


Abb. 31. Verhältnisse der Durchbiegung und der Stabneigung bei verschiedener Befestigung der Flügelstange und Annahme gleicher Geschwindigkeit des Wassers.

Bei diesen Vergleichen ist vorausgesetzt, daß der Stab in jedem Falle in ganzer Länge schwingt. Es ist nun wohl denkbar, daß der Flügel mit seiner größeren Masse und größeren, der Strömung entgegen gerichteten Fläche den Schwingungen soviel Widerstand entgegengesetzt, daß sich jeweilig an seinem Ort ein Knoten bildet. Wenn sich regelmäßige Schwingungen ausbilden sollen, dann müssen die beiden Teillängen oberhalb und unterhalb des Flügels in bestimmten Verhältnissen stehen. Auch das Stück Stange ober-

Tabelle

der größten rechnerischen Durchbiegung der Stange und Schiefstellung des Flügels bei verschiedenen Befestigungsweisen und ihr Verhältnis zur Normaleichung.

Lagerung der Stange S. Fall A bis D Text-Abb. 32 bis 35	Verhältnis der größten Durchbiegung zu derjenigen der Normaleichung	Verhältnis der Inhalte der Biegeflächen zu denjenigen der Normaleichung	Verhältnis der Inhalte der Stabneigungsflächen zu demjenigen der Normaleichung
1	2	3	4
A	= 1,0	1,0	1,0
B	= 0,1040 · $\frac{v^2 \cdot l^4}{v^2 \cdot l^4} \frac{B B}{A A}$	0,1667	0,2086
C	= 0,0432 · $\frac{v^2 \cdot l^4}{v^2 \cdot l^4} \frac{C C}{A A}$	0,0622	0,0824
D	= 0,0208 · $\frac{v^2 \cdot l^2}{v^2 \cdot l^4} \frac{D D}{A A}$	0,0276	0,0831

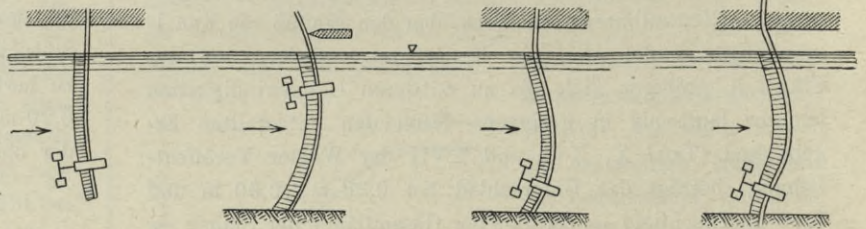


Abb. 32. Fall A. Abb. 33. Fall B. Abb. 34. Fall C. Abb. 35. Fall D.

Abb. 32 bis 35. Befestigungen des Flügels.

halb der Befestigung, welches in der Luft schwingt, wirkt hierbei mit. Unter dieser verwickelteren Annahme wird die rechnermäßige Verfolgung des Einflusses von Schrägstellung und Schwingung fast aussichtslos. Man wird sich deshalb mit rohen Annäherungen begnügen müssen und die Voraussetzung festzuhalten haben, daß die Flügelstange in ganzer Länge von der Flußsohle bis zur oberen Befestigungsstelle ohne Zwischenknoten schwingt.

Für drei der Vergleichsgruppen läßt sich die vorausgesetzte Größe der Schwingung und Schrägstellung mittels der gefundenen Störungen nachprüfen.

Zuerst wird der Vergleich an Hand der Gruppe 3 der Vergleichszeichnungen: „Einfluß wechselnder Stangenlänge bei gleichbleibender Tiefenlage des Flügels unter dem Spiegel“ durchgeführt. Hierbei ist es möglich, die Durchbiegung und Stabneigung in 0,20 m Tiefe unter dem Spiegel oder 0,40 m unter der Klemme für verschiedene Stangenlängen zu berechnen, wie in nachstehender Tabelle geschehen, und mit der Änderung der Umlaufzahlen zu vergleichen. Die Gleichung der elastischen Linie des Stabes ist auf die Einspannungsstelle als Koordinatenanfangspunkt bezogen

$$y = \frac{pl^4}{EJ} \cdot \frac{1}{24} \left(\frac{6x^2}{l^2} - \frac{4x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right);$$

und die Gleichung für die Stabneigung

$$tg \tau = \frac{dy}{dx} = \frac{pl^3}{EJ} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} + \frac{1}{3} \frac{x^3}{l^3} \right).$$

Daraus ergibt sich folgende Tabelle:

Tabelle

der rechnerischen Durchbiegung und Neigung der Flügelstange in 0,40 m unter der Einspannungsstelle bei verschiedener Gesamtlänge. (Hierzu Text-Abb. 36.)

Nr.	Gesamt-länge $l =$	Für eine Tiefenlage des Flügels von $l_a = 0,40$ ist das Verhältnis $\frac{l_a}{l} =$	Verhältnis zur Durchbiegung im Falle A	Verhältnis zur Stabneigung im Falle A
1	2	3	4	5
a	0,40 m	1,0	$\frac{l_a^4}{l^4} \cdot 1,00 = 1,00$	$\left(\frac{l_a^3}{l^3}\right) \cdot 1,00 = 1,00$
b	0,80 "	0,5	$\frac{l_b^4}{l^4} \cdot 0,3415 = 5,44$	$\left(\frac{l_b^3}{l^3}\right) \cdot 0,875 = 7,30$
c	1,00 "	0,4	$\frac{l_c^4}{l^4} \cdot 0,2435 = 9,50$	$\left(\frac{l_c^3}{l^3}\right) \cdot 0,785 = 12,30$
d	2,00 "	0,2	$\frac{l_d^4}{l^4} \cdot 0,0433 = 27,05$	$\left(\frac{l_d^3}{l^3}\right) \cdot 0,491 = 61,50$
e	4,00 "	0,1	$\frac{l_e^4}{l^4} \cdot 0,0184 = 187,30$	$\left(\frac{l_e^3}{l^3}\right) \cdot 0,271 = 271,30$

Die Verhältniszahlen aus Spalte 4 und 5 sind in Text-Abb. 37 aufgetragen. Es ergibt sich, daß sowohl die Durchbiegung

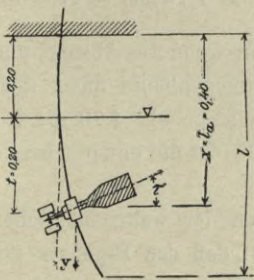


Abb. 36.

wie die Stabneigung in zunehmendem Maße wächst, wenn die Stange unter Festhaltung der Lage des Flügels zum Spiegel tiefer eingetaucht wird. Die Stabneigung nimmt noch ein wenig stärker zu als die Durchbiegung.

Während also nach den wirklichen Eichungsergebnissen die zur Erzeugung einer bestimmten sekundlichen Umlaufzahl $n = 6$ nötige Geschwindigkeit mit wachsender Stangenlänge erst schnell, dann abnehmend langsamer zunimmt (vgl. Darstellung S. 39 und Text-Abb. 29), nimmt die rechnermäßige Schwingung

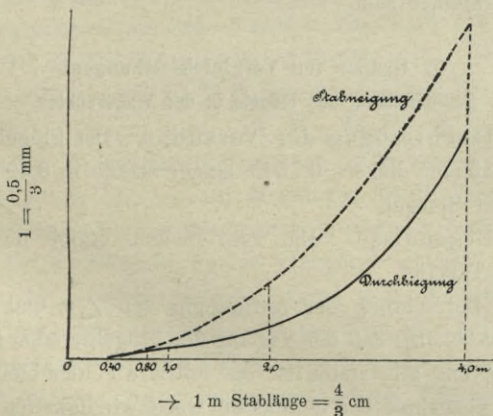


Abb. 37. Verhältniszahlen der Durchbiegung und Stabneigung eines Punktes in 0,40 m Tiefe bei wachsender Stablänge.

der Stange bzw. Schrägstellung des Flügels in wachsendem Maße mit der Stangenlänge zu. Eine direkte geradlinige Proportionalität zwischen Störungen und Schwingungen bzw. Schrägstellung besteht also hierbei nicht.

In dem zweiten einfacheren Fall, wo ein unmittelbarer Vergleich zwischen dem Verlauf der Störungen und dem der Schwingungen möglich ist, nämlich bei einem frei am Ende der Stange befindlichen Flügel (Gruppe 2 der Vergleiche), zeigt das angenommene Gesetz bessere Übereinstimmung, wie sich aus dem Verlauf der Zahlenwerte Spalte 4 der Tabelle Seite 42 im Vergleich mit der Text-Abb. 26 zeigt.

In dem dritten Fall, der einen unmittelbaren Vergleich zuläßt, Eichung des Flügels 279² (A. Ott), nehmen die Ausbiegungen am Ort des Flügels zu nach folgendem Verhältnis:

Befestigungsfall	Schwingungslänge bis zum Flügel	Verhältnis der Durchbiegungen
II	1,20 m	1,00
III	1,70 "	2,85
IV	2,40 "	8,01

Die Störungen nehmen schwächer zu; denn es ist für $n = 7$ die Geschwindigkeit im

- Fall II = 3,0935
- „ III = 3,1439
- „ IV = 3,1677

Fall I. Für den weiteren Vergleich zwischen Eichung und Messung ist zunächst angenommen, daß der Flügel bei der Messung am Ende der Stange steht und mit dieser auf und nieder bewegt wird. Dann ist die Durchbiegung oder der Schwingungsaus Schlag

$$f = \frac{1}{8} \frac{pl^4}{EJ} - \frac{1}{8} \frac{1}{EJ} p \cdot (l \cdot l')^4 + \frac{P'' l'^3}{EJ 3}$$

Wenn sich das Stangenlager nicht allzu hoch über dem Wasserspiegel befindet, so kann bei einiger Eintauchtiefe das zweite Glied gegen das erste vernachlässigt werden. Ebenso das dritte Glied, wenn der Führungskörper nicht besonders dick ist, dann ist also näherungsweise

$$f \approx \frac{1}{8} \frac{p}{EJ} \cdot l^4 = \xi \cdot pl^4,$$

wo $\xi = \frac{1}{8 \cdot EJ} = 0,125 \frac{1}{EJ},$

p ist hierin mit v^2 veränderlich;

$$p = \psi' \cdot \gamma d \frac{v^2}{2g} = \psi \cdot v^2,$$

$$f = \xi \cdot \psi \cdot v^2 \cdot l^4.$$

Die Durchbiegung der Stange nimmt also mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit und mit der vierten Potenz der Stablänge zu; entsprechend nach der Annahme die Störung des Flügelumlaufs.

Bei der Messung kommt die angegebene Befestigung nur bei geringen Geschwindigkeiten in Frage; diese werden in solchen Fällen überwiegend kleiner sein, als die obere Grenze von etwa 4 m bei der Eichung; denn bei großen Geschwindigkeiten wird, wie erwähnt, gewöhnlich die Stange auf Grund gesetzt, dagegen werden häufig größere Tiefen vorkommen, als bei der Eichung vorlagen.

Es soll nun der Unterschied der Durchbiegungen oder der Störungen bei Messungen in verschiedener Tiefe oder mit verschiedener Stangenlänge und verschiedener Geschwindigkeit gegen die der Eichung in der hier gebräuchlichen Tiefe von 1 m (Normaleichung) nachgewiesen werden.

Tabelle

der rechnerischen Durchbiegung der Flügelstange an deren Ende bei wachsender Stangenlänge im Verhältnis zu der Normaleichung in 1 m Tiefe.

Eichung Nr.	Tiefenlage des Flügels unter dem Spiegel $t =$ m	Gesamtlänge der Stange bis zur Flügelachse $l =$ m	Verhältnis der Durch- biegung zu Fall VIII (Normaltiefe) $f : f_{VIII} =$
1	2	3	4
VII	0,20	0,40	0,00077
IV	0,40	0,60	0,0589
VIII	1,00 Normaltiefe	1,20	1,0
IX	1,50	1,70	4,03
X	2,00	2,20	11,3
XI	2,50	2,70	25,6

Die Schwingungen nehmen, wie aus Spalte 4 ersichtlich, sehr stark zu; trotzdem ist die Abnahme der Umlaufwerte zwischen den beiden Grenzfällen von 0,40 m und 2,70 m Stangenlänge*) und ähnlich zwischen den Stangenlängen von 1,20 m und 2,70 m, wie oben gezeigt, bei $\sim v = 3$ m nur etwa 6,2 cm bzw. 6 cm = 2 vH.; bei kleineren Geschwindigkeiten geringer.

Soll der Fehler auch bei Tiefen über 2,70 m nicht über 2 vH. betragen, so dürfen die Geschwindigkeiten nicht so hoch steigen, wie bei der Eichung. Andererseits würde man auf eine unsichere Schätzung durch Extrapolieren angewiesen sein.

Nach der Gleichung

$$f = \xi \cdot \psi' \cdot v^2 \cdot l^4$$

müssen sich die Geschwindigkeiten v umgekehrt wie die Quadrate der Längen l verhalten, wenn die Durchbiegungen gleich bleiben sollen. Zum Beispiel würden bei einer Stangenlänge von $2 \cdot 2,70 = 5,40$ m für Geschwindigkeiten bis zu etwa $\frac{3,0}{2^2} = 0,75$ m/Sek. noch Fehler unter 2 vH. gegen die Normaleichung von 1 m Stangenlänge zu erwarten sein.

Fall II. Der Flügel befinde sich an einer auf Grundgesetzten Stange.

Wie oben erwähnt, kann die Lagerung entweder nach Skizze B (Text-Abb. 33, frei aufliegender Stab)

„ „ C (Text-Abb. 34, einseitig eingespannter Stab)

„ „ D (Text-Abb. 35, beiderseits „ „)

erfolgen. Je nach der Befestigung am Meßkahn und am Boden wird sich die wirkliche Schwingung mehr dem einen oder andern Falle nähern. Vernachlässigt man auch hier wieder den fehlenden Wasserdruck auf das über Wasser befindliche Stück der Stange und den Einfluß des Führungskörpers, so ist die größte Durchbiegung im Verhältnis zur Durchbiegung bei der Eichung aus der Tabelle Seite 40, Spalte 2, zu ersehen. Die Stange steht danach viel ruhiger als bei der Eichung; bei denselben Geschwindigkeiten und Stangenlängen betragen die Schwingungen nur rd. 2 bis 10 vH.

Am nächsten kommt die Wirkungsweise der Befestigung der Stange bei der Messung wohl derjenigen nach Text-Abb. 34; hier betragen die Schwingungen rd. 4 vH. derjenigen der Eichung

*) Die Stangenlängen sind in diesen Berechnungen bis zur Flügelachse, nicht bis zum Ende der Grundplatte eingesetzt, welches 0,15 m tiefer liegt.

Für $v = \sim 3$ m/Sek. werden die Schwingungen bei der Messung in diesem Befestigungsfalle gleich denen bei der Eichung, wenn die Stangenlänge das $n = \sqrt[4]{\frac{1}{0,0432}} = 2,185$ fache beträgt,

d. h. bei etwa 2,50 m. Bei Tiefen über 2,50 m dürfen also nur Geschwindigkeiten unter 2,50 m/Sek. vorkommen, wenn die Schwingungen in den Grenzen der Normaleichung bleiben sollen; die Geschwindigkeiten müssen sich auch hier wieder umgekehrt wie die Quadrate der Stangenlängen verhalten. Werden etwas größere Störungen zugelassen, so dürfen auch die Tiefen größere werden, ohne daß die Geschwindigkeiten herabgesetzt werden. Die Schwingungen eines eingespannten Stabes von 2,70 m Länge (Eichung XI der Tabelle S. 42) betragen das 25,6fache eines Stabes von 1,20 m Länge; die Störungen erreichen bis zur Grenze von 3 m/Sek. höchstens rd. 6 cm oder 2 vH., wie oben berechnet (s. S. 42). Gleich große Schwingungen erscheinen bei einem nach Befestigungsfall C (Text-Abb. 34) gelagerten Stabe, wenn seine Länge $l_C = 2,185 \cdot 2,7 = \sim 6$ m beträgt. Kleiner werden die Schwingungen:

1. an allen Punkten der Stange, wenn die Geschwindigkeit unter 3 m/Sek. beträgt,

2. bei 3 m/Sek. nach den beiden Enden der Stange hin. Liegt eine Lagerung nach Fall B (Text-Abb. 33) vor, so

darf die Stangenlänge nur $\sqrt[4]{\frac{1}{0,014}} = 1,76$ mal so groß als

bei der Eichung mit 2,70 m Länge sein, wenn die Abweichung gegen die Normaleichung mit 1 m Stangenlänge nicht über 2 vH. betragen soll, d. h. also nicht mehr als 4,70 m; für die Lagerung nach Fall D (Text-Abb. 35) ist die entsprechende Länge $2,63 \times 2,70 = \sim 7,10$ m.

Nach den ermittelten Grenzwerten der wahrscheinlichen Fehler erscheint es nicht zweifelhaft, daß das Ergebnis der Normaleichung in 1 m Tiefe auch bei Messungen mit anderer Befestigung der Stange für Stromverhältnisse, wie sie in Norddeutschland gewöhnlich vorkommen, ohne weiteres verwendet werden kann. Nur an einzelnen Profilverpunkten wird die Störung, welche bewirkt, daß der Flügel zu langsam läuft, also zu kleine Angaben macht, 2 vH. betragen, meist aber viel kleiner sein.

5. Gruppe von Vergleichseichungen.

Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten.

a) Beschreibung der Versuche. Der Flügel befand sich an 45 mm dicker, 0,75 m langer Stange in 0,40 m Tiefe unter dem Spiegel.

b) Ergebnisse. Die Einzelheiten ergibt die nachstehende Tabelle.

Die Betrachtung der Auftragung von Δv und v zeigt (s. Text-Abb. 38), daß der Verlauf der Flügelgeraden auch bei Schrägstellung sehr stetig ist, der mittlere Fehler bleibt klein, und mit Ausnahme der geringsten Geschwindigkeiten ist die Beziehung zwischen n und v eine geradlinige. Die Mindestgeschwindigkeit, bei welcher der Flügel regelmäßig läuft, ist bei einer Schiefstellung um 60° erheblich größer, als bei der Stellung geradeaus. Die rechnerische Anlaufgeschwindigkeit a schwankt unregelmäßig in engen Grenzen (+19 mm und -12 mm). Der Hauptwert b steigt mit wachsender Schräglage, bis 10° sehr langsam, dann schneller. Die

Nr.	Datum der Eichung	Schiefstellung gegen die Wagerechte	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der Geraden über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
IV	20. 1. 05	0°	0,078	4,375	40	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	6,8
XVI	4. 9. 05	5°	0,082	4,425	38	$0,0088 + 0,5094 \cdot n$	4,8
XVII	12. 9. 05	10°	0,088	4,425	37	$0,0086 + 0,5114 \cdot n$	7,6
XVIII	15. 9. 05	15°	0,085	4,032	39	$0,0103 + 0,5326 \cdot n$	7,7
XIX	16. 9. 05	30°	0,091	4,167	36	$0,0127 + 0,6106 \cdot n$	8,1
XX	29. 1. 06	60°	0,135	3,704	32	$-0,0122 + 1,4730 \cdot n$	27,6

Schiefstellung hat also dieselbe Wirkung, als ob die Ganghöhe der Schraube vergrößert wäre, gleichzeitig nimmt die Reibung ein wenig zu.

Zwischen dem geradeaus- und dem schräggestellten Flügel besteht, wie aus der Zahlentafel S. 56 hervorgeht,

Denkt man sich die unter dem Winkel φ schräg auftretende Strömung v in ihre Komponenten gleichlaufend $v \cdot \cos \varphi$ und quer $v \cdot \sin \varphi$ zur Flügelachse zerlegt, so entspricht $v \cdot \cos \varphi$ die Gerade $a_\varphi + b_\varphi \cdot n$; die zweite Komponente $v \cdot \sin \varphi$ erzeugt nur Reibungs- und Wirbelwiderstände.

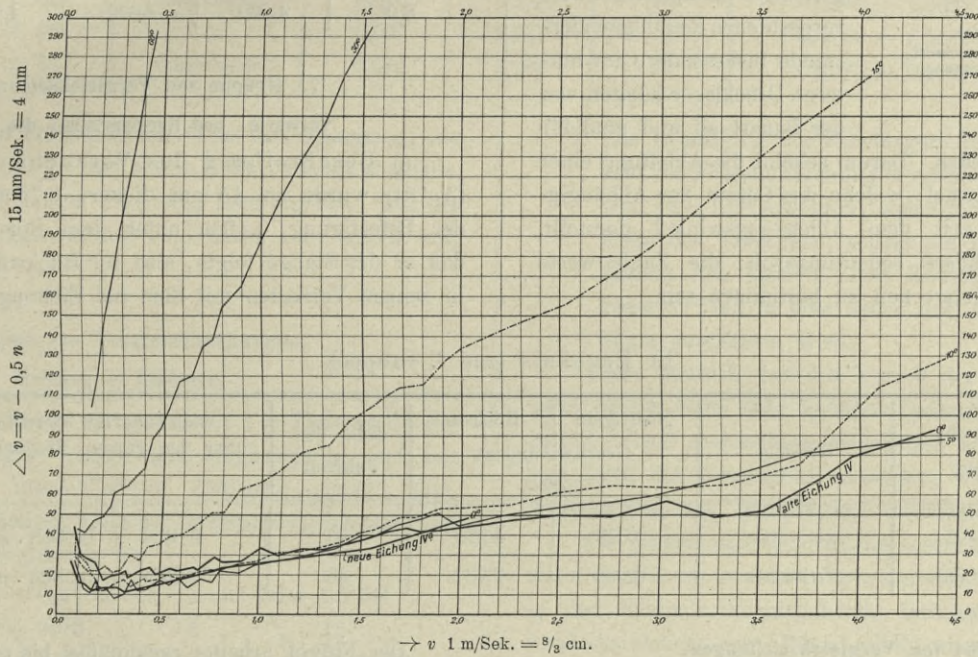


Abb. 38. Flügel Nr. 385². 0,40 m unter der Wasseroberfläche. Schiefstellung in der Wagerechten.

bei 5° Abweichung ein Unterschied von nur 14 mm in der zur Erzeugung von 8 Umdrehungen in der Sekunde nötigen Geschwindigkeit von rd. 4 m/Sek.; das heißt etwa 0,35 vH.; bei 10° ist er 30 mm oder 0,75 vH., bei 15° beträgt er bereits 201 mm oder rd. 5 vH., bei 30° 808 mm oder rd. 20,2 vH., bei 60° 7002 mm oder 175 vH. Die Werte sind aus den gemittelten Flügelgraden berechnet. Für geringe Grade von Schiefstellung oder — auf Messungen im fließenden Wasser übertragen — für ein wenig schräge treffende Strömungen ist also der entstehende Fehler gegenüber anderen Ungenauigkeiten der Messung ziemlich gering anzuschlagen und eine Reduktion kaum erforderlich. Hierzu trägt wohl bei, daß durch die Schrägstellung der Flügel dem Einfluß des Stangenstaus etwas entzogen wird; wenigstens ist bei Schrägstellung in lotrechtem Sinne die Abnahme der Umdrehungswerte stärker wie S. 56 nachgewiesen. Der mathematische Zusammenhang zwischen dem Winkel der Schiefstellung und der Änderung der Flügelgleichung ist in dem Aufsatz der österreichischen Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1903 Heft 38 und 39 „Der normale und schief gestellte hydrometrische Flügel“ von Landa klargestellt.

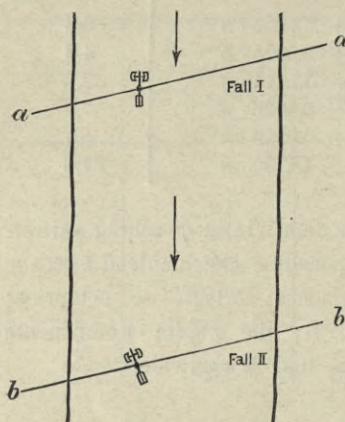
Die folgende Tabelle gibt die aus den Gleichungen berechneten Werte von $v' \cdot \cos \varphi$ bei verschiedenen n :

Tabelle der Werte $v' \cdot \cos \varphi$.

$n =$	0°	5°	10°	15°	30°	60°
0,5	0,273	0,261	0,260	0,268	0,275	0,362
2,0	1,032	1,024	1,015	1,039	1,069	1,467
4,0	2,045	2,038	2,023	2,068	2,126	2,440
8,0	4,070	4,068	4,038	4,125	4,242	5,536

Die Werte von 0° (Eichung IV) sind, wie schon oben erwähnt, ein wenig zu groß. Es ergibt sich, daß bis etwa 15° $v \cdot \cos \varphi = \text{Const.}$ ist; die von $v \cdot \sin \varphi$ erzeugten Widerstände sind demnach bis dahin ohne Belang, und man kann den Flügel entweder schräg zum Meßquerschnitt in die Richtung der Strömung (Fall I Text-Abb. 39 S. 44) oder senkrecht zum Meßquerschnitt schräg zum Strom stellen (Fall II) und hat in beiden Fällen unter Benutzung der Normaleichung die Geschwindigkeit mit dem Kosinus zu reduzieren. Bei größeren Abweichungen der Strömung von der Senkrechten zum Meßquerschnitt ist das letztere Verfahren nicht mehr

anzuwenden, ohne merkliche Fehler zu begehen; es sei denn, daß eine Eichung für Schrägstellung vorliegt. Zum Beispiel erhält man bei 30° Abweichung, wenn man das betrachtete n



Stellung des Flügels:
Fall I schräg zum Meßquerschnitt,
„ II schräg zur Stromrichtung.

Abb. 39.

jede Flügelart verschieden. Darum scheint die Ableitung einer allgemein gültigen Formel, welche das Gesetz der Abhängigkeit der Festwerte von dem Ablenkungswinkel darstellt, praktisch nicht besonders bedeutungsvoll; die Zahlenwerte würden für jede Flügelart neu zu bestimmen sein.

in die Normalgleichung einsetzt und das so gefundene v mit $\cos 30^\circ$ multipliziert, eine um rd. 4 vH. zu kleine Geschwindigkeit. Die Wirbelwiderstände lassen sich rechnerisch gar nicht erfassen, je nach der Geschwindigkeit und nach Form des Flügelkörpers und der Schaufel fallen sie verschieden aus; auch die durch die quergerichtete Komponente hervorgerufenen Reibungswiderstände insbesondere im hinteren Drucklager hängen von der Bauart ab und sind für

rechten; zur Erzeugung von acht Umdrehungen in der Sekunde sind bei

$$1^\circ 30'' - 3 \text{ mm} = 0,08 \text{ vH.}$$

$$5^\circ - 23 \text{ „} = 0,57 \text{ „}$$

$$7^\circ 20'' - 60 \text{ „} = 1,50 \text{ „}$$

mehr Geschwindigkeit nötig als bei Stellung geradeaus. Für mäßige Grade der Abweichung der Strömungsrichtung von der Wagerechten tritt jedoch auch in diesem Falle nur ein verschwindend kleiner Fehler auf. Innerhalb der untersuchten Grenzen ist $v \cdot \cos \varphi$ fast konstant.

n	0°	$1^\circ 30''$	5°	$7^\circ 20''$
0,5	0,273	0,269	0,268	0,270
2,0	1,032	1,030	1,030	1,036
4,0	2,045	2,044	2,045	2,055
8,0	4,070	4,072	4,077	4,096

7. Gruppe von Vergleichseichungen.

Vorwärts- und Rückwärtslauf des Flügels.

a) Beschreibung des Versuchs. Der Flügel 385^{II} (A. Ott) wurde an 45 mm dicker, 0,75 m langer Stange in der Befestigung 0,40 m unter dem Spiegel so geschleppt, daß er der Stange folgte, also für Rückwärtslauf. Er ist also in seinem Verhalten mit dem bei Eichung IV zu vergleichen.

b) Ergebnis (zur 7. Gruppe).

Nr.	Datum der Eichung	Stellung	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der Geraden über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
IV	20. 1. 05	vorwärts	0,078	4,375	40	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	6,8
	26. 1. 06	rückwärts	0,098	2,732	30	$0,0239 + 0,5833 \cdot n$	6,2

6. Gruppe von Vergleichseichungen.

Schiefstellung des Flügels im lotrechten Sinne.

a) Beschreibung der Versuche. Die Versuche wurden mit demselben Flügel Nr. 385^{II} (A. Ott) vorgenommen; die Achse lag an der Stange 0,40 m unter dem Spiegel, die Stange war 45 mm dick und wie bei Eichung IV eingespannt.

b) Ergebnisse. Folgende Tabelle gibt das Nähere.

Der Flügel arbeitet regelmäßig bis etwa $v=2,75$ m/Sek. (Abb. 2 Bl. 10); dann liegt die Kurve nach der n -Achse um. Dies beruht wohl auf der Wirbelbildung an der Rückseite der Stange. Die Krümmung der Kurve für die kleineren Geschwindigkeiten ist ganz geringfügig. Der Lauf rückwärts ist bei Einbeziehung aller Eichfahrten um rd. 12 vH. schwerer als vorwärts; wenn man die Fahrten über 2,75 m/Sek. fortläßt, um rd. 17 vH. Dies rührt daher, daß beim Rückwärtslauf nicht das hintere

Nr.	Datum der Eichung	Schiefstellung gegen die Lotrechte	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste Geschwindigkeit m/Sek.	Zahl der Fahrten	Gleichung der Geraden über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
IV	20. 1. 05	0°	0,078	4,375	40	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	6,8
XXI	29. 1. 06	$1^\circ 30'$	0,090	4,065	34	$0,0157 + 0,5072 \cdot n$	5,8
XXII	30. 1. 06	5°	0,082	4,132	29	$0,0137 + 0,5099 \cdot n$	7,0
XXIII	30. 1. 06	$7^\circ 20'$	0,106	4,098	30	$0,0147 + 0,5144 \cdot n$	8,7

Auch hier, wie bei Schrägstellung in der Wagerechten, schmiegt sich der Verlauf der Meßpunkte eng einer Geraden an (vgl. Abb. 1 Blatt 10); die wirkliche Anlaufgeschwindigkeit steigert sich nur wenig, und die rechnermäßige a bleibt auch fast unverändert bei wachsender Schrägstellung. Der Hauptwert b der Flügelgleichung steigt und zwar etwas schneller als bei Schrägstellung in der Wage-

Spitzenlager, sondern der Bund am Kugellager den Axialdruck aufnehmen muß; dadurch wird die Reibungsarbeit vergrößert.

8. Gruppe von Vergleichseichungen.

Stahl- und Achatkugeln.

a) Beschreibung der Versuche. Es ist bereits mehrfach versucht worden, an Stelle von Stahlkugeln solche

aus Achat zu verwenden, um der Rostgefahr auszuweichen; seitdem Kugeln aus Hartnickel verwendet werden, fällt dieser Grund weg. Immerhin schien Achat wegen der großen Härte und Politurfähigkeit trotz der Schwierigkeit der genauen Herstellung von gleich großen, vollkommen runden Kugeln sehr geeignet. Um der öfter aufgestellten Behauptung auf den Grund zu gehen, daß Achatkugellager leichteren Lauf zeigten als Stahlkugeln, wurde der folgende Vergleich angestellt:

- „1. Zur Bewegung des Versuchswagens verfügt die Anstalt bedauerlicherweise nicht über einen Motor; sie erfolgt ausschließlich durch menschliche Arbeitsleistung. Infolgedessen ist es auch nicht möglich, dem Wagen eine stets sich gleichbleibende Geschwindigkeit zu verleihen, wodurch die Genauigkeit der Versuche leider beeinträchtigt wird.
2. Die Fahrzeiten, die übrigens keine so große Rolle spielen, werden unter Verwendung einer Taschenuhr mit springendem Sekundenzeiger gemessen.

b) Ergebnisse.

Nr.	Datum der Eichung	Lagerung mit	Niedrigste Geschwindigkeit m/Sek.	Höchste	Zahl der Fahrten	Gleichung der Geraden über den ganzen Meßbereich $v =$	Mittlerer Fehler mm
IV	20. 1. 05	Stahlkugeln	0,078	4,375	40	$0,0194 + 0,5063 \cdot n$	6,8
IV ^a	3. 2. 05	„	0,067	2,041	12	$0,0115 + 0,5082 \cdot n$	6,0
	3. 2. 05	Achatkugeln	0,069	3,788	31	$0,0167 + 0,5067 \cdot n$	6,0

Die gemittelten Flügelgeraden fallen fast zusammen; die Auftragung der Werte Δv und v Abb. 4 Bl. 10 zeigt ebenfalls, daß die Achatkugeln keinen leichteren Lauf ergeben. Bei der Schwierigkeit ihrer Beschaffung liegt daher kein Anreiz vor, sie zu verwenden.

9. Gruppe von Vergleichseichungen.

Reibung im Zählwerk.

Der Flügel Nr. 245 (A. Ott) wurde in 1 m Tiefe an 26 mm dicker, 1,70 m langer Stange mit eingerücktem und mit herausgenommenem mechanischem Zählwerk geprüft (vgl. Abb. 5 Bl. 8). In letzterem Falle lief er durchweg leichter, und zwar betrug die Abweichung für

$n = 0,1$	oder	$v = 0,07$ m/Sek	19 mm	oder	25 vH.
$n = 0,2$	„	$v = 0,09$ „	14 „	„	15 „
$n = 1,5$	„	$v = 0,41$ „	8 „	„	0,2 vH.
$n = 2,0$	„	$v = 0,55$ „	41 „	„	0,7 „
$n = 12,0$	„	$v = 3,29$ „	12 „	„	0,4 „

Herrn A. Ott in Kempten ist die Versuchsanstalt für die bereitwillige Hergabe seines Flügels 385 zu diesen Versuchen sowie der Eichungsergebnisse der Anstalt in Bern zu großem Dank verpflichtet, ebenso Herrn Oberingenieur Dr. Epper für die Genehmigung zur Verwertung der genannten Eichungen für die vorliegende Arbeit. In bezug auf die Einrichtungen der Berner Anstalt wird auf Wunsch des Herrn Dr. Epper noch folgendes bemerkt:

3. Die Ermittlung der Fahrlängen für eine bestimmte Anzahl von Flügelumdrehungen geschieht unter Verwendung von zwei Luftgewehren, wobei jeweilen am Beginn und Ende des Versuches, sobald ein gewöhnlicher Elektromagnet den Eintritt eines Kontaktes anzeigt, ein befiederter Pfeil in eine neben dem Gleise sich befindende Skala geschossen wird.

Diese Methode hat den Vorteil der größten Einfachheit, setzt jedoch einen sehr geübten Beobachter voraus. Die auf solche Weise gewonnenen Ergebnisse können selbstverständlich nicht die Genauigkeit erreichen, wie sie sich durch die Verwendung von elektrischen Chronographen erzielen läßt.

Für praktische Zwecke dürfte unsere Methode, insbesondere wenn es sich um gewöhnlich vorkommende, nicht über 3 Meter in der Sekunde hinausgehende Geschwindigkeiten handelt, wohl ausreichend sein. Für spezielle wissenschaftliche Studien wäre ein gutgehender Chronograph sicherlich vorzuziehen. Unsere Mittel gestatteten es jedoch bisher nicht, ein solches Instrument anzuschaffen.“

Der Versuchskanal liegt im Freien und besitzt einen Wasserquerschnitt von 1 m Tiefe, 1 m unterer und 1,14 m oberer Breite.

Durch diese unter so mannigfachen Bedingungen durchgeführten Eichungen dürfte einige Klarheit über das Verhalten der Stromflügel mit Schaufeln geschaffen sein; sie bewähren sich in fast allen Lagen und zeigen einen für die Zwecke des Wasserbaus wohl immer ausreichenden Grad von Genauigkeit.

$W = \text{Weg in m.}$
 $t = \text{Zeit in Sekunden.}$
 $U = \text{Zahl der Umdrehungen auf der Strecke } W.$
 $v = \text{beobachtete Geschwindigkeit in m/Sek.}$
 $n = \text{sekundliche Zahl der Umdrehungen} = U/t.$
 $\Delta v = \text{Abweichung des Wertes } v \text{ von dem Nahrungswert } v' = \beta \cdot n.$
 $f = v - v'$ wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung.
 $M = \text{mittlerer Fehler.}$

Nr. I. Flügel Nr. 385 Schraube 2, am Drahtseil hängend, etwa 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	110,5	12,0	0,090	0,109	0,035	0,068	22
2	20	183,0	28,5	0,109	0,156	0,031	0,092	17
3	20	137,0	32,4	0,146	0,236	0,028	0,132	14
4	20	106,5	38,0	0,188	0,357	0,0095	0,192	14
5	20	89,3	37,8	0,224	0,423	0,0125	0,225	1
6	25	95,3	47,6	0,262	0,499	0,0125	0,263	1
7	25	83,3	47,6	0,300	0,571	0,0145	0,299	1
8	25	72,5	49,5	0,345	0,683	0,0035	0,355	10
9	25	64,2	49,0	0,389	0,763	0,0075	0,395	6
10	30	68,5	58,3	0,438	0,851	0,0125	0,438	0
11	25	51,4	50,0	0,486	0,973	-0,0005	0,499	13
12	25	43,8	49,5	0,546	1,081	0,0055	0,553	7
13	30	50,6	58,8	0,593	1,162	0,0012	0,594	1
14	30	45,9	59,4	0,654	1,294	0,007	0,660	6
15	30	43,0	59,1	0,664	1,308	0,010	0,667	3
16	30	40,2	59,2	0,698	1,377	0,0095	0,701	5
17	40	54,5	79,2	0,734	1,453	0,0075	0,739	3
18	40	51,0	79,1	0,784	1,551	0,0085	0,788	4
19	40	48,3	79,1	0,828	1,638	0,009	0,831	3
20	40	44,2	79,8	0,905	1,805	0,0025	0,915	10
21	40	39,6	79,5	1,010	2,008	0,006	1,016	6
22	40	36,4	79,3	1,099	2,179	0,0045	1,101	2
23	40	33,5	79,3	1,194	2,367	0,0105	1,195	1
24	40	30,5	79,6	1,311	2,610	0,006	1,317	6
25	50	35,9	99,1	1,393	2,760	0,013	1,391	2
26	50	33,6	99,3	1,488	2,955	0,0105	1,488	0
27	50	31,1	99,3	1,608	3,193	0,0115	1,607	1
28	50	29,4	99,3	1,701	3,378	0,012	1,699	2
29	50	27,2	99,1	1,838	3,643	0,0165	1,831	7
30	50	26,4	99,2	1,894	3,758	0,015	1,889	5
31	50	25,1	99,2	1,992	3,952	0,016	1,986	6
32	50	23,3	99,3	2,146	4,202	0,015	2,140	6
33	50	22,2	99,2	2,252	4,468	0,018	2,243	9
34	50	20,9	99,3	2,500	4,965	0,0175	2,491	9
35	50	18,1	99,6	2,762	5,503	0,0105	2,759	3
36	50	16,5	99,7	3,030	6,042	0,009	3,028	2
37	50	15,2	99,8	3,289	6,566	0,006	3,290	1
38	50	14,3	100,0	3,497	6,993	0,0005	3,503	6
39	50	13,0	100,0	3,846	7,692	0	3,851	5
40	50	12,2	99,8	4,098	8,180	0,008	4,095	3
41	50	11,6	100,0	4,310	8,621	-0,0005	4,315	3
				57,051	113,406			

Für $v = 0,090$ bis $4,310$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n.$
 Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0140 \\ b = 0,4989. \end{cases}$
 $M = \sqrt[39]{2050} = \sqrt[39]{5^2 \cdot 6} = 7,3$ mm.

Nr. II. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an wagerechter Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	189,0	20,3	0,079	0,107	0,0255	0,059	20
2	15	147,8	23,0	0,101	0,156	0,023	0,083	18
3	20	129,1	35,0	0,155	0,271	0,0195	0,141	14
4	20	94,6	36,7	0,211	0,388	0,017	0,200	11
5	20	73,3	40,1	0,273	0,547	-0,0005	0,279	3
6	25	82,0	49,5	0,305	0,604	0,003	0,308	3
7	20	61,2	40,2	0,327	0,657	-0,0015	0,3345	2
8	20	52,6	39,5	0,380	0,751	0,0045	0,382	7
9	25	64,0	49,3	0,391	0,770	0,0006	0,391	2
10	25	57,6	48,8	0,434	0,847	0,0105	0,430	4
11	25	57,9	50,2	0,432	0,867	-0,0015	0,440	8
12	30	61,4	59,1	0,489	0,963	0,0075	0,488	1
13	30	54,2	59,2	0,554	1,092	0,0008	0,553	1
14	30	50,0	60,1	0,600	1,202	0,0001	0,608	8
15	30	44,8	59,8	0,670	1,335	0,0025	0,674	4
16	30	42,4	60,7	0,708	1,432	-0,008	0,723	15
17	30	39,6	59,8	0,758	1,510	0,003	0,762	4
18	30	37,3	60,1	0,804	1,611	-0,0015	0,813	9
19	40	43,8	79,5	0,913	1,815	0,0055	0,915	2
20	40	40,4	80,0	0,990	1,980	0	0,998	8
21	40	36,2	80,0	1,105	2,210	0	1,113	8
22	40	33,3	80,0	1,201	2,402	0	1,209	8
23	40	30,8	79,5	1,299	2,581	0,0085	1,299	0
24	50	36,9	99,5	1,355	2,696	0,007	1,356	1
25	50	33,9	99,5	1,475	2,935	0,0075	1,476	1
26	50	31,8	99,5	1,572	3,129	0,0075	1,574	2
27	50	29,7	99,5	1,684	3,350	0,009	1,684	0
28	50	27,9	99,5	1,792	3,566	0,009	1,793	3
29	50	26,3	99,3	1,901	3,776	0,013	1,898	3
30	50	25,0	99,3	2,000	3,972	0,014	1,996	4
31	50	23,3	99,3	2,146	4,262	0,015	2,141	5
32	50	21,7	99,2	2,304	4,571	0,0185	2,296	8
33	50	19,8	99,5	2,525	5,025	0,0125	2,524	1
34	50	18,0	99,4	2,778	5,522	0,017	2,773	5
35	50	16,3	99,6	3,067	6,110	0,012	3,068	1
36	50	15,1	99,5	3,311	6,589	0,0165	3,308	3
37	50	14,0	99,6	3,571	7,114	0,014	3,571	0
38	50	13,2	99,6	3,788	7,545	0,0155	3,787	1
39	50	12,2	99,6	4,098	8,164	0,016	4,097	1
40	50	11,1	99,7	4,505	8,982	0,014	4,507	1
				57,051	113,406			

Für $v = 0,079$ bis $4,505$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n.$
 Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0052 \\ b = 0,5012. \end{cases}$
 $M = \sqrt[38]{1982} = \sqrt[38]{5^2 \cdot 2} = 7,2$ mm.

Nr. III. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 26 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	128,0	12,0	0,078	0,094	0,031	0,056	22
2	15	135,2	23,8	0,111	0,176	0,023	0,097	14
3	15	115,8	25,2	0,130	0,218	0,021	0,118	12
4	15	90,2	27,5	0,166	0,305	0,013	0,163	3
5	20	98,6	37,6	0,203	0,381	0,012	0,201	3
6	20	83,8	37,7	0,239	0,450	0,014	0,236	3
7	20	71,4	38,5	0,280	0,539	0,010	0,281	1
8	20	62,5	38,6	0,320	0,618	0,011	0,321	1
9	25	68,8	49,0	0,363	0,712	0,007	0,369	6
10	25	64,4	48,5	0,388	0,753	0,009	0,390	2
11	25	56,8	48,7	0,440	0,857	0,011	0,442	2
12	25	50,2	49,2	0,498	0,980	0,008	0,505	7
13	30	54,2	59,0	0,554	1,089	0,009	0,560	6
14	25	42,3	49,0	0,591	1,158	0,012	0,595	4
15	30	44,8	59,2	0,670	1,321	0,009	0,678	8
16	30	42,7	59,0	0,703	1,382	0,012	0,708	5
17	30	39,8	59,3	0,754	1,490	0,009	0,763	9
18	30	37,1	59,0	0,809	1,590	0,014	0,814	5
19	40	44,7	78,7	0,895	1,761	0,014	0,901	6
20	40	39,3	78,3	1,018	1,992	0,022	1,018	0
21	40	36,4	78,9	1,099	2,168	0,015	1,107	8
22	40	32,8	78,3	1,220	2,387	0,021	1,218	2
23	40	30,5	78,6	1,311	2,577	0,022	1,314	3
24	50	35,5	98,1	1,408	2,761	0,027	1,408	0
25	50	33,2	98,1	1,506	2,955	0,028	1,506	0
26	50	30,8	98,2	1,623	3,188	0,029	1,624	1
27	50	29,3	98,2	1,706	3,352	0,030	1,707	1
28	50	27,6	98,0	1,812	3,551	0,036	1,808	4
29	50	26,2	98,0	1,908	3,740	0,038	1,904	4
30	50	25,0	98,2	2,000	3,928	0,036	1,999	1
31	50	22,4	98,2	2,232	4,384	0,040	2,230	2
32	50	20,3	98,3	2,463	4,842	0,042	2,462	1
33	50	18,2	98,5	2,747	5,412	0,059	2,751	4
34	50	16,5	98,5	3,030	5,970	0,045	3,034	4
35	50	14,9	98,3	3,356	6,597	0,058	3,352	4
36	50	13,6	98,4	3,676	7,234	0,042	3,675	1
37	50	12,3	98,2	4,065	7,984	0,073	4,055	10
38	50	11,6	98,5	4,310	8,491	0,064	4,312	2
				50,682	99,388			

Für $v = 0,078$ bis $4,310$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n.$
 Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0080 \\ b = 0,5069. \end{cases}$
 $M = \sqrt[36]{1494} = \sqrt[36]{4 \cdot 1494} = 6,4$ mm.

Nr. IV. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter, 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	206,0	12,0	0,073	0,058	0,044	0,049	+
2	15	141,2	21,4	0,106	0,152	0,030	0,097	+
3	20	141,2	32,0	0,142	0,227	0,028	0,135	+
4	20	110,5	34,1	0,181	0,309	0,026	0,176	+
5	20	89,2	36,9	0,224	0,414	0,017	0,229	+
6	20	77,3	37,0	0,259	0,479	0,019	0,262	-
7	25	84,8	46,6	0,295	0,550	0,020	0,298	-
8	20	59,8	37,3	0,334	0,624	0,022	0,336	-
9	25	73,0	47,3	0,342	0,648	0,018	0,348	-
10	25	62,8	47,2	0,398	0,752	0,022	0,400	-
11	30	66,0	56,9	0,455	0,862	0,024	0,456	-
12	30	62,2	57,5	0,482	0,924	0,020	0,487	-
13	30	54,2	57,4	0,554	1,059	0,024	0,556	-
14	30	50,6	57,8	0,593	1,142	0,022	0,598	-
15	30	44,9	57,8	0,668	1,287	0,024	0,671	-
16	30	43,3	58,0	0,693	1,339	0,023	0,698	-
17	35	45,4	67,7	0,771	1,491	0,029	0,775	-
18	40	48,9	77,4	0,818	1,583	0,026	0,821	-
19	45	49,3	87,3	0,913	1,771	0,027	0,916	-
20	30	29,8	58,0	1,007	1,946	0,034	1,005	+
21	40	36,4	77,8	1,099	2,137	0,030	1,102	-
22	40	33,0	77,8	1,212	2,358	0,033	1,213	-
23	40	30,1	78,0	1,329	2,591	0,033	1,332	-
24	50	35,0	97,5	1,429	2,786	0,036	1,430	-
25	50	32,9	97,5	1,520	2,964	0,038	1,520	0
26	50	30,7	97,4	1,629	3,173	0,042	1,626	+
27	50	29,0	97,4	1,724	3,359	0,044	1,720	+
28	50	27,8	97,7	1,799	3,514	0,042	1,799	+
29	50	26,4	97,7	1,894	3,701	0,043	1,893	+
30	50	25,0	97,8	2,000	3,912	0,044	2,000	0
31	50	24,0	97,8	2,083	4,075	0,045	2,083	0
32	50	21,9	97,9	2,283	4,470	0,048	2,283	0
33	50	20,1	98,0	2,488	4,876	0,050	2,488	0
34	50	18,2	98,2	2,747	5,396	0,049	2,752	-
35	50	16,5	98,1	3,030	5,945	0,057	3,030	-
36	50	15,3	98,5	3,268	6,438	0,049	3,279	-
37	50	14,2	98,5	3,521	6,937	0,052	3,532	-
38	50	13,1	98,2	3,817	7,496	0,069	3,815	-
39	40	10,1	78,4	3,960	7,762	0,079	3,950	+
40	35	8,0	68,5	4,375	8,563	0,093	4,555	+
								56,515 110,070

Für $v = 0,073$ bis $4,375$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0196 \\ b = 0,5063 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{1760}{38}} = \sqrt{46,3} = 6,8 \text{ mm.}$$

Nr. V. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter, 75 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	137,5	10,0	0,073	0,073	0,0365	0,047	+
2	15	142,0	23,0	0,106	0,162	0,025	0,093	+
3	15	106,2	25,9	0,141	0,244	0,019	0,135	+
4	20	123,2	35,8	0,162	0,291	0,0165	0,159	+
5	20	101,0	37,6	0,198	0,372	0,012	0,200	+
6	20	88,6	37,7	0,226	0,426	0,013	0,228	-
7	20	73,0	38,0	0,274	0,521	0,0135	0,276	-
8	25	78,5	48,2	0,318	0,614	0,011	0,324	-
9	25	70,0	48,0	0,357	0,686	0,014	0,360	-
10	25	63,2	47,9	0,396	0,758	0,017	0,397	-
11	25	58,3	48,4	0,429	0,830	0,014	0,434	-
12	30	60,8	58,0	0,493	0,954	0,016	0,497	-
13	30	54,6	58,1	0,549	1,064	0,017	0,553	-
14	30	50,0	58,0	0,600	1,160	0,020	0,602	-
15	30	46,0	58,2	0,652	1,265	0,0195	0,656	-
16	30	42,2	58,2	0,711	1,379	0,0215	0,714	-
17	30	39,5	58,1	0,759	1,471	0,0235	0,761	-
18	40	48,5	77,5	0,825	1,598	0,026	0,826	-
19	40	44,2	77,6	0,905	1,756	0,027	0,907	-
20	40	39,4	77,6	1,015	1,970	0,030	1,016	-
21	40	35,9	77,8	1,114	2,167	0,0305	1,116	-
22	35	29,4	67,8	1,190	2,306	0,037	1,187	+
23	40	30,0	77,8	1,333	2,593	0,0365	1,334	+
24	50	35,2	97,2	1,420	2,761	0,0395	1,419	+
25	50	33,0	97,2	1,515	2,945	0,0425	1,513	+
26	50	31,4	97,2	1,592	3,096	0,044	1,590	+
27	50	29,3	97,3	1,706	3,321	0,0455	1,705	+
28	50	27,4	97,5	1,825	3,558	0,046	1,826	+
29	50	26,0	97,5	1,923	3,750	0,048	1,924	-
30	50	24,8	97,6	2,016	3,935	0,0485	2,019	-
31	50	22,6	97,6	2,212	4,319	0,0525	2,215	-
32	50	20,0	97,7	2,500	4,885	0,0575	2,504	-
33	50	17,9	97,8	2,793	5,464	0,061	2,799	-
34	50	16,5	98,0	3,030	5,939	0,0605	3,042	-
35	50	14,6	97,6	3,425	6,685	0,0825	3,423	-
36	50	13,8	97,8	3,623	7,087	0,0795	3,628	-
37	50	12,5	97,5	4,000	7,800	0,100	3,992	-
38	50	11,3	97,4	4,425	8,619	0,1155	4,410	-
								50,831 98,824

Für $v = 0,073$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0102 \\ b = 0,5105 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{1602}{36}} = \sqrt{44,5} = 6,7 \text{ mm.}$$

Nr. VI. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter, 110 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	141,0	11,0	0,071	0,078	0,032	0,053	+
2	15	144,5	23,8	0,104	0,165	0,0215	0,098	+
3	15	133,5	23,5	0,112	0,176	0,024	0,108	+
4	20	149,3	33,5	0,134	0,224	0,022	0,128	+
5	20	131,3	34,7	0,152	0,264	0,020	0,149	+
6	20	122,2	35,6	0,164	0,291	0,0185	0,163	+
7	20	99,0	36,4	0,202	0,368	0,018	0,202	+
8	20	83,8	37,0	0,239	0,442	0,018	0,241	-
9	25	91,0	46,3	0,275	0,509	0,0205	0,275	-
10	25	81,9	47,2	0,305	0,576	0,017	0,310	-
11	25	71,5	47,0	0,350	0,657	0,0215	0,352	-
12	30	76,2	56,6	0,394	0,743	0,0225	0,396	-
13	25	59,0	47,7	0,424	0,808	0,020	0,430	-
14	25	52,1	47,7	0,480	0,916	0,022	0,485	-
15	25	46,0	47,3	0,543	1,028	0,029	0,543	-
16	30	50,8	57,1	0,591	1,124	0,029	0,593	-
17	30	45,8	57,1	0,655	1,247	0,0315	0,656	-
18	30	43,0	57,2	0,698	1,330	0,033	0,699	-
19	30	39,6	57,2	0,758	1,444	0,036	0,758	-
20	30	36,4	57,2	0,824	1,571	0,0385	0,824	-
21	40	44,3	76,3	0,903	1,722	0,042	0,902	-
22	40	39,2	76,6	1,020	1,954	0,043	1,022	+
23	40	36,2	76,3	1,105	2,108	0,051	1,101	+
24	40	33,3	77,0	1,201	2,312	0,045	1,206	+
25	40	30,2	77,0	1,325	2,550	0,050	1,329	-
26	50	35,0	96,3	1,429	2,751	0,0535	1,433	-
27	50	32,7	96,1	1,529	2,939	0,0595	1,530	-
28	50	31,5	96,1	1,587	3,051	0,0615	1,588	-
29	50	29,6	96,2	1,689	3,250	0,064	1,691	-
30	50	27,8	96,2	1,799	3,460	0,069	1,799	-
31	50	26,6	96,2	1,880	3,617	0,0715	1,880	0
32	50	25,0	96,2	2,000	3,848	0,076	2,000	0
33	50	22,1	96,3	2,262	4,357	0,0835	2,263	-
34	50	19,9	96,5	2,513	4,849	0,0885	2,517	-
35	50	18,0	96,8	2,778	5,378	0,089	2,790	-
36	50	16,6	96,8	3,012	5,831	0,0965	3,024	-
37	50	15,2	96,5	3,289	6,349	0,1145	3,292	-
38	50	14,1	96,5	3,546	6,844	0,124	3,547	-
39	50	12,8	96,3	3,906	7,323	0,1445	3,898	-
40	50	11,8	96,0	4,237	8,136	0,169	4,215	+
								50,485 96,790

Für $v = 0,071$ bis $4,237$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0123 \\ b = 0,5165 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{1538}{38}} = \sqrt{40,5} = 6,4 \text{ mm.}$$

Nr. VII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,20 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	195,0	16,0	0,077	0,082	0,036	0,060	+
2	15	159,5	21,1	0,094	0,132	0,028	0,085	+
3	20	182,0	31,0	0,110	0,170	0,025	0,104	+
4	20	155,0	33,0	0,129	0,213	0,022	0,126	+
5	20	134,0	35,0	0,149	0,261	0,017	0,150	+
6	20	120,2	36,0	0,166	0,300	0,016	0,170	+
7	20	108,4	36,2	0,185	0,334	0,018	0,187	+
8	20	98,3	36,3	0,203	0,369	0,018	0,2045	+
9	20	81,8	37,6	0,244	0,460	0,014	0,2505	+
10	25	88,9	47,3	0,281	0,532	0,015	0,287	+
11	25	77,9	47,5	0,321	0,610	0,016	0,326	+
12	25	69,7	47,9	0,359	0,687	0,015	0,365	+
13	25	64,8	47,8	0,386	0,738	0,017	0,391	+
14	30	67,3	57,4	0,446	0,853	0,019	0,449	+
15	30	61,4	57,9	0,489	0,943	0,017	0,494	+
16	30	54,0	57,9	0,556	1,072	0,020	0,559	+
17	30	49,6	58,0	0,605	1,169	0,020	0,608	+
18	40	62,3	77,4	0,642	1,242	0,021	0,645	+
19	40	56,0	77,8	0,714	1,389	0,019	0,719	+
20	40	52,8	77,5	0,758	1,468	0,024	0,759	+
21	40	48,9	77,8	0,818	1,591	0,022	0,821	+
22	40	42,8	77,8	0,935	1,818	0,026	0,935	+
23	40	40,3	77,8	0,993	1,931	0,027	0,992	+
24	40	36,5	77,8	1,096	2,132	0,030	1,093	+
25	40	33,1	77,9	1,208	2,353	0,031	1,205	+
26	40	30,0	78,0	1,333	2,600	0,033	1,329	+
27	50	34,8	97,3	1,437	2,799	0,037	1,430	+
28	50	33,8	97,3	1,479	2,879	0,039	1,470	+
29	50	31,6	97,7	1,582	3,092	0,036	1,577	+
30	50	28,8	98,0	1,736	3,403	0,034	1,734	+
31	50	27,8	98,0	1,799	3,525	0,036	1,796	+
32	50	26,2	98,0	1,908	3,740	0,038	1,904	+
33	50	25,1	98,0	1,992	3,904	0,040	1,987	+
34	50	22,2	98,0	2,252	4,414	0,045	2,244	+
35	50	20,0	98,5	2,500	4,925	0,037	2,501	+
36	50	18,1	98,8	2,762	5,459	0,032	2,771	+
37	50	16,7	99,0	2,994	5,928	0,030	3,007	+
38	50	14,0	98,9	3,356	6,644	0,032	3,368	+
39	50	14,0	98,9	3,571	7,064	0,039	3,580	+
40	40	10,2	79,0	3,922	7,745	0,049	3,923	+
41	45	10,5	88,5	4,286	8,429	0,071	4,268	+
					50,873			
					99,399			

Für $v = 0,077$ bis $4,286$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0186 \\ b = 0,5041. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{1800}{39}} = \sqrt{46,2} = 6,8 \text{ mm.}$$

Nr. VIII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 1 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	199,0	17,8	0,075	0,089	0,030	0,060	+
2	15	159,0	23,3	0,094	0,140	0,024	0,085	+
3	15	135,8	23,8	0,110	0,175	0,022	0,103	+
4	20	103,0	35,0	0,150	0,263	0,018	0,147	+
5	20	103,5	37,1	0,193	0,358	0,014	0,195	+
6	20	86,8	37,9	0,230	0,437	0,011	0,235	+
7	20	74,7	38,1	0,268	0,510	0,013	0,272	+
8	20	65,2	38,0	0,307	0,583	0,015	0,309	+
9	25	70,6	48,1	0,354	0,681	0,013	0,359	+
10	25	63,5	48,2	0,394	0,759	0,014	0,398	+
11	25	58,5	48,1	0,427	0,822	0,016	0,430	+
12	25	50,3	48,6	0,497	0,966	0,014	0,502	+
13	25	46,5	48,6	0,538	1,045	0,015	0,542	+
14	25	41,8	48,4	0,598	1,158	0,019	0,599	+
15	30	45,8	58,5	0,695	1,277	0,016	0,660	+
16	30	42,2	58,5	0,711	1,386	0,018	0,715	+
17	30	39,6	58,5	0,758	1,477	0,019	0,760	+
18	30	36,7	58,3	0,817	1,589	0,022	0,817	+
19	30	33,1	58,6	0,906	1,770	0,021	0,908	+
20	40	40,2	78,0	0,995	1,940	0,025	0,994	+
21	40	36,6	78,1	1,093	2,134	0,026	1,092	+
22	35	28,9	68,2	1,211	2,360	0,031	1,206	+
23	40	30,9	78,3	1,294	2,534	0,032	1,294	+
24	50	34,9	98,0	1,433	2,808	0,029	1,433	+
25	50	32,9	97,9	1,520	2,976	0,032	1,517	+
26	50	31,1	97,9	1,608	3,148	0,034	1,604	+
27	50	28,8	98,1	1,792	3,406	0,033	1,735	+
28	50	27,9	98,2	1,792	3,520	0,032	1,792	+
29	50	26,3	98,2	1,901	3,734	0,039	1,900	+
30	50	24,9	98,3	2,008	3,948	0,032	2,008	+
31	50	22,4	98,3	2,451	4,388	0,038	2,230	+
32	50	20,4	98,3	2,451	4,819	0,041	2,448	+
33	50	18,0	98,5	2,778	5,472	0,042	2,778	+
34	50	16,5	98,5	3,030	5,970	0,045	3,029	+
35	50	15,1	98,8	3,311	6,543	0,039	3,319	+
36	50	14,1	98,8	3,546	7,007	0,042	3,553	+
37	50	13,1	98,8	3,817	7,542	0,045	3,823	+
38	50	12,1	98,5	4,132	8,140	0,062	4,125	+
39	35	7,8	69,0	4,487	8,846	0,064	4,481	+
					54,457			
					106,720			

Für $v = 0,075$ bis $4,487$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0146 \\ b = 0,5050. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{856}{37}} = \sqrt{23,1} = 4,8 \text{ mm.}$$

Nr. IX. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 1,50 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	114,5	12,5	0,087	0,109	0,032	0,070	+
2	15	121,0	23,8	0,124	0,197	0,025	0,115	+
3	15	94,0	25,9	0,160	0,276	0,022	0,1555	+
4	20	97,2	36,2	0,206	0,372	0,020	0,203	+
5	20	83,4	37,2	0,240	0,446	0,017	0,240	+
6	20	82,5	37,0	0,242	0,448	0,018	0,2425	+
7	20	70,8	37,5	0,282	0,530	0,017	0,283	+
8	25	81,9	47,0	0,305	0,574	0,018	0,305	+
9	25	72,1	47,5	0,347	0,659	0,017	0,348	+
10	25	63,8	47,5	0,392	0,745	0,019	0,392	+
11	25	61,0	47,8	0,410	0,784	0,018	0,411	+
12	25	55,5	48,0	0,450	0,865	0,017	0,452	+
13	20	39,5	38,4	0,506	0,972	0,020	0,506	+
14	30	55,4	58,0	0,542	1,047	0,018	0,544	+
15	30	50,5	57,9	0,594	1,147	0,020	0,595	+
16	30	43,8	58,2	0,685	1,329	0,020	0,687	+
17	30	39,4	58,2	0,761	1,477	0,022	0,762	+
18	30	37,4	58,6	0,802	1,567	0,018	0,807	+
19	35	38,4	68,2	0,911	1,776	0,023	0,913	+
20	40	40,0	78,0	1,000	1,950	0,025	1,001	+
21	40	36,6	78,1	1,093	2,134	0,026	1,094	+
22	40	33,1	78,2	1,208	2,363	0,026	1,210	+
23	40	30,2	78,3	1,325	2,593	0,028	1,326	+
24	50	35,0	98,2	1,429	2,806	0,026	1,434	+
25	50	32,5	98,2	1,538	3,022	0,027	1,543	+
26	50	30,1	98,0	1,623	3,182	0,032	1,624	+
27	50	29,1	98,2	1,718	3,375	0,030	1,721	+
28	50	27,6	98,1	1,812	3,554	0,035	1,812	+
29	50	26,3	98,3	1,901	3,738	0,032	1,903	+
30	50	25,1	98,3	1,992	3,916	0,034	1,995	+
31	50	22,2	98,4	2,252	4,432	0,036	2,256	+
32	50	19,9	98,4	2,513	4,945	0,040	2,515	+
33	50	17,6	98,3	2,841	5,585	0,048	2,839	+
34	50	16,7	98,5	2,994	5,898	0,046	2,997	+
35	50	14,9	98,4	3,356	6,604	0,054	3,354	+
36	50	13,3	98,3	3,759	7,391	0,063	3,752	+
37	50	12,3	98,5	4,065	8,008	0,061	4,064	+
38	50	11,3	98,4	4,425	8,708	0,071	4,418	+
					50,890			
					99,524			

Für $v = 0,087$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0149 \\ b = 0,5056. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{678}{36}} = \sqrt{18,8} = 4,3 \text{ mm.}$$

Nr. X. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 2 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	142,0	12,0	0,070	0,085	0,027	0,046	24
2	10	116,0	14,8	0,086	0,128	0,024	0,068	18
3	4	81,0	17,8	0,123	0,220	0,013	0,115	8
4	10	71,5	18,5	0,140	0,259	0,010	0,134	6
5	15	85,0	28,7	0,176	0,338	0,007	0,175	1
6	15	67,2	28,6	0,223	0,426	0,010	0,220	3
7	20	77,8	39,0	0,257	0,501	0,006	0,258	3
8	20	68,2	38,9	0,293	0,570	0,008	0,293	0
9	20	60,4	39,0	0,331	0,646	0,008	0,332	1
10	20	51,5	39,4	0,388	0,765	0,005	0,392	4
11	25	57,5	48,9	0,435	0,850	0,010	0,436	1
12	30	62,1	59,0	0,483	0,950	0,008	0,486	3
13	30	55,4	59,0	0,542	1,065	0,009	0,545	3
14	30	51,3	59,0	0,585	1,150	0,010	0,588	3
15	30	46,6	58,8	0,644	1,262	0,013	0,645	1
16	30	43,3	59,0	0,693	1,363	0,009	0,697	4
17	30	39,5	59,0	0,759	1,494	0,012	0,764	5
18	40	50,3	8,8	0,795	1,567	0,011	0,801	6
19	40	44,6	78,9	0,897	1,769	0,012	0,904	7
20	40	40,7	78,9	0,983	1,939	0,013	0,990	8
21	40	36,8	78,9	1,087	2,144	0,015	1,095	9
22	40	33,6	78,9	1,190	2,348	0,016	1,199	9
23	40	30,6	78,9	1,307	2,578	0,018	1,316	9
24	50	37,1	98,2	1,348	2,647	0,024	1,351	3
25	50	33,3	98,2	1,502	2,949	0,027	1,505	3
26	50	31,2	98,0	1,603	3,141	0,032	1,603	0
27	50	28,9	98,0	1,730	3,391	0,034	1,730	0
28	50	28,6	98,0	1,748	3,427	0,034	1,748	0
29	50	26,8	98,0	1,866	3,657	0,038	1,866	0
30	50	24,7	98,0	2,024	3,968	0,040	2,024	0
31	50	22,5	98,1	2,222	4,360	0,047	2,224	0
32	50	19,9	98,0	2,513	4,925	0,050	2,512	1
33	50	18,0	98,0	2,778	5,444	0,056	2,776	2
34	50	16,3	98,3	3,067	6,031	0,051	3,075	8
35	50	15,3	93,0	3,268	6,405	0,065	3,265	3
36	50	13,7	97,5	3,650	7,117	0,091	3,628	22
								41,806 81,879

Für $v = 0,070$ bis $3,05$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0026 \\ b = 0,5094. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{2044}{34}} = \sqrt{60,1} = 7,8 \text{ mm.}$$

Nr. XI. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 2,50 m unter der Wasseroberfläche ohne untere Versteifung der Stange.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	203,0	24,5	0,074	0,121	0,013	0,054	20
2	15	139,0	27,0	0,108	0,194	0,011	0,092	16
3	15	117,0	27,4	0,126	0,234	0,011	0,113	15
4	15	103,0	28,0	0,146	0,272	0,010	0,133	13
5	20	110,4	38,0	0,181	0,344	0,009	0,170	11
6	15	69,6	29,0	0,216	0,417	0,007	0,208	8
7	20	76,0	38,2	0,263	0,500	0,013	0,251	12
8	20	67,0	38,2	0,299	0,570	0,014	0,287	12
9	20	59,4	38,5	0,337	0,648	0,013	0,328	9
10	20	53,3	38,8	0,375	0,728	0,011	0,369	6
11	25	51,3	48,3	0,487	0,942	0,015	0,480	7
12	30	54,4	58,3	0,551	1,072	0,015	0,548	3
13	30	49,5	58,2	0,606	1,176	0,018	0,602	4
14	30	45,8	58,5	0,655	1,277	0,016	0,654	1
15	30	42,2	58,6	0,711	1,389	0,016	0,712	1
16	30	39,5	58,9	0,759	1,491	0,013	0,765	6
17	30	37,8	58,9	0,794	1,558	0,015	0,800	6
18	40	43,3	78,6	0,924	1,815	0,016	0,933	9
19	40	40,2	78,2	0,995	1,945	0,022	1,001	6
20	40	37,0	78,5	1,081	2,122	0,020	1,093	12
21	40	33,7	78,5	1,187	2,329	0,022	1,200	13
22	40	30,9	78,8	1,294	2,550	0,019	1,315	21
23	50	36,3	98,0	1,377	2,700	0,027	1,393	16
24	50	34,1	98,0	1,466	2,874	0,029	1,483	17
25	50	31,5	98,0	1,587	3,111	0,031	1,606	19
26	50	29,6	97,9	1,689	3,307	0,035	1,708	19
27	50	27,8	98,0	1,799	3,525	0,036	1,821	22
28	50	26,4	98,1	1,894	3,716	0,041	1,920	26
29	50	25,0	97,9	2,000	3,916	0,042	2,024	24
30	50	22,5	97,6	2,222	4,338	0,053	2,243	21
31	50	20,6	98,0	2,427	4,757	0,048	2,460	33
32	50	18,2	96,8	2,747	5,319	0,087	2,752	5
33	50	16,4	96,0	3,049	5,854	0,122	3,030	19
34	50	15,0	93,1	3,333	6,207	0,229	3,213	120
								37,761 73,318

Für $v = 0,074$ bis $3,333$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = -0,0086 \\ b = 0,5190. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{21698}{32}} = 26 \text{ mm.}$$

Nr. XII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 2,50 m unter der Wasseroberfläche mit unterer Versteifung durch 2 Drahtseile.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	133,0	12,5	0,075	0,094	0,028	0,051	24
2	15	174,5	20,7	0,086	0,119	0,024	0,063	23
3	20	172,4	33,2	0,116	0,193	0,019	0,102	14
4	20	137,0	35,7	0,146	0,261	0,015	0,136	10
5	20	116,2	36,8	0,172	0,317	0,015	0,165	7
6	20	98,2	36,6	0,204	0,373	0,017	0,194	10
7	20	82,8	37,5	0,242	0,453	0,015	0,235	7
8	25	89,0	47,4	0,281	0,533	0,014	0,276	5
9	25	78,0	47,2	0,321	0,605	0,018	0,313	8
10	25	70,9	47,6	0,353	0,671	0,017	0,347	6
11	25	63,1	47,9	0,396	0,759	0,016	0,393	3
12	25	56,5	47,6	0,442	0,842	0,021	0,442	3
13	25	49,0	48,3	0,510	0,986	0,017	0,509	7
14	20	36,6	38,8	0,546	1,060	0,016	0,547	1
15	30	50,0	57,9	0,600	1,158	0,021	0,598	2
16	30	45,4	58,2	0,661	1,282	0,020	0,661	0
17	30	43,2	58,0	0,694	1,343	0,022	0,693	1
18	30	39,1	58,3	0,767	1,491	0,021	0,769	2
19	30	37,1	58,4	0,809	1,574	0,022	0,811,5	2
20	40	44,0	78,0	0,909	1,773	0,022	0,914	5
21	40	40,4	77,8	0,990	1,926	0,027	0,992	2
22	40	35,8	78,0	1,117	2,179	0,027	1,123	6
23	40	33,2	78,0	1,205	2,349	0,030	1,210	5
24	50	39,0	97,8	1,282	2,508	0,028	1,292	10
25	40	30,2	78,0	1,325	2,583	0,028	1,330	5
26	50	36,1	97,5	1,385	2,701	0,034	1,391	6
27	50	33,0	97,6	1,515	2,958	0,036	1,523	8
28	50	31,6	98,0	1,582	3,101	0,041	1,597	15
29	50	28,3	97,7	1,767	3,452	0,041	1,777	10
30	50	27,9	98,2	1,792	3,520	0,032	1,812	20
31	50	26,3	98,1	1,901	3,730	0,036	1,920	19
32	50	25,0	98,5	2,000	3,940	0,030	2,028	28
33	50	22,4	98,4	2,232	4,393	0,035	2,261	29
34	50	20,4	98,3	2,451	4,819	0,041	2,480	29
35	50	18,6	98,0	2,688	5,269	0,053	2,711	23
36	50	16,7	97,7	2,994	5,850	0,069	3,010	16
37	50	14,8	96,8	3,378	6,541	0,107	3,365	13
38	50	15,4	96,8	3,247	6,286	0,104	3,234	13
39	40	9,2	76,2	4,348	8,283	0,206	4,261	87
								47,529 92,275

Für $v = 0,075$ bis $4,348$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0023 \\ b = 0,5141. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{14356}{37}} = \sqrt{388} = 19,7 \text{ mm.}$$

Nr. XIII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,20 m unter der Wasseroberfläche, Länge der Stange im Wasser 0,55 m.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	143,0	13,0	0,070	0,091	0,025	0,058	12
2	10	114,0	15,4	0,088	0,135	0,020	0,080	8
3	15	124,5	27,0	0,120	0,217	0,011	0,122	2
4	20	145,2	36,3	0,138	0,250	0,013	0,138	0
5	20	116,5	37,0	0,172	0,318	0,013	0,173	0
6	20	90,4	38,0	0,221	0,420	0,011	0,225	4
7	20	77,4	38,3	0,258	0,495	0,010	0,263	5
8	20	68,0	38,4	0,294	0,565	0,011	0,298	4
9	25	75,0	48,0	0,333	0,640	0,013	0,337	4
10	25	70,4	48,0	0,355	0,682	0,014	0,358	3
11	25	62,1	48,3	0,403	0,778	0,014	0,407	3
12	25	57,0	48,0	0,439	0,842	0,018	0,439	0
13	25	50,7	48,7	0,493	0,961	0,012	0,500	7
14	30	55,1	58,5	0,544	1,062	0,013	0,551	7
15	25	42,3	48,3	0,591	1,142	0,020	0,592	1
16	30	45,7	58,2	0,656	1,274	0,019	0,659	3
17	30	42,7	58,2	0,703	1,363	0,021	0,704	1
18	30	38,8	58,4	0,773	1,505	0,020	0,776	3
19	40	49,9	77,7	0,802	1,557	0,023	0,803	1
20	40	43,4	77,8	0,922	1,793	0,025	0,923	1
21	40	40,4	77,7	0,990	1,923	0,028	0,989	1
22	40	36,6	77,8	1,093	2,126	0,030	1,092	1
23	40	33,4	77,8	1,198	2,329	0,033	1,195	1
24	40	30,0	77,8	1,333	2,593	0,036	1,329	3
25	50	35,4	97,2	1,412	2,746	0,039	1,407	5
26	50	33,4	97,2	1,497	2,910	0,042	1,4905	7
27	50	31,3	97,4	1,597	3,112	0,041	1,593	4
28	50	29,1	97,3	1,718	3,344	0,046	1,711	7
29	50	27,8	97,5	1,799	3,507	0,045	1,794	4
30	50	26,2	97,5	1,908	3,721	0,047	1,903	5
31	50	24,9	97,6	2,008	3,920	0,048	2,004	5
32	50	23,0	97,8	2,174	4,252	0,048	2,173	4
33	50	21,5	97,9	2,326	4,533	0,049	2,326	1
34	50	19,9	97,9	2,513	4,920	0,053	2,512	0
35	50	17,9	98,1	2,793	5,480	0,053	2,797	1
36	50	16,6	98,2	3,012	5,916	0,054	3,0185	4
37	50	15,2	98,2	3,289	6,461	0,055	3,2955	6
38	50	13,7	98,0	3,650	7,153	0,073	3,647	3
39	50	12,3	98,2	4,065	7,984	0,073	4,070	5
40	50	11,3	98,1	4,425	8,681	0,084	4,424	1
								53,175 103,721

Für $v = 0,070$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0113 \\ b = 0,5083 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{788}{38}} = \sqrt{20,7} = 4,5 \text{ mm.}$$

Nr. XIV. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,20 m unter der Wasseroberfläche, Länge der Stange im Wasser 1,15 m.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	10	107,0	12,0	0,093	0,112	0,037	0,068	25
2	10	91,0	15,0	0,110	0,165	0,027	0,095	15
3	20	136,5	34,1	0,147	0,250	0,022	0,138	9
4	15	81,6	27,2	0,184	0,333	0,017	0,181	3
5	20	90,5	37,0	0,221	0,409	0,016	0,219	2
6	20	76,1	38,5	0,263	0,506	0,010	0,269	6
7	20	67,0	38,6	0,299	0,576	0,011	0,304	5
8	20	60,4	38,2	0,331	0,632	0,015	0,331	0
9	20	60,0	38,4	0,333	0,640	0,013	0,337	4
10	25	70,3	48,4	0,356	0,688	0,012	0,362	6
11	25	65,3	48,7	0,383	0,746	0,010	0,391	8
12	25	57,5	48,0	0,435	0,835	0,017	0,436	1
13	25	51,1	49,3	0,489	0,965	0,006	0,503	14
14	25	46,0	48,8	0,556	1,084	0,014	0,561	7
15	25	42,6	48,5	0,587	1,138	0,018	0,591	4
16	30	45,5	58,7	0,659	1,290	0,014	0,668	9
17	30	42,6	58,2	0,704	1,366	0,021	0,707	3
18	30	40,0	58,7	0,750	1,460	0,016	0,759	9
19	40	49,5	77,2	0,808	1,560	0,028	0,806	2
20	40	43,6	77,5	0,917	1,778	0,028	0,917	0
21	40	39,5	77,8	1,013	1,970	0,028	1,015	2
22	40	36,1	78,0	1,108	2,161	0,027	1,112	4
23	40	32,9	77,8	1,216	2,365	0,033	1,216	0
24	40	30,2	78,1	1,325	2,586	0,032	1,329	4
25	50	36,8	97,2	1,359	2,641	0,038	1,357	2
26	50	32,6	97,2	1,534	2,982	0,043	1,530	4
27	50	31,3	97,3	1,597	3,105	0,044	1,593	4
28	50	29,1	97,3	1,718	3,344	0,046	1,715	3
29	50	27,1	97,5	1,845	3,598	0,046	1,844	1
30	50	26,1	97,2	1,916	3,724	0,054	1,908	3
31	50	25,2	97,2	1,984	3,857	0,055	1,976	8
32	50	22,3	97,4	2,242	4,368	0,058	2,237	5
33	50	19,8	97,6	2,525	4,929	0,060	2,522	3
34	50	18,2	97,5	2,747	5,357	0,068	2,740	5
35	50	16,3	97,9	3,067	6,006	0,064	3,071	7
36	50	14,5	98,0	3,448	6,759	0,068	3,455	4
37	50	13,1	98,0	3,817	7,481	0,076	3,823	6
38	50	12,1	97,9	4,132	8,091	0,086	4,134	2
39	50	11,3	97,8	4,425	8,655	0,097	4,421	4
								51,643 100,520

Für $v = 0,093$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0109 \\ b = 0,5095 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{1972}{39}} = \sqrt{53,3} = 7,3 \text{ mm.}$$

Nr. XV. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,20 m unter der Wasseroberfläche, Länge der Stange im Wasser 2,65 m ohne untere Versteifung der Stange.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,5n$	v'	f
1	15	200,0	18,3	0,075	0,092	0,029	0,051	24
2	15	169,0	22,1	0,089	0,131	0,023	0,071	18
3	20	162,0	34,0	0,123	0,210	0,018	0,112	11
4	20	125,9	35,8	0,159	0,284	0,017	0,1495	10
5	20	99,3	38,7	0,201	0,390	0,006	0,204	3
6	20	84,3	39,0	0,237	0,463	0,005	0,241	3
7	25	91,6	48,8	0,273	0,533	0,006	0,277	4
8	25	79,0	49,2	0,316	0,623	0,004	0,323	7
9	25	68,1	49,1	0,367	0,721	0,006	0,373	6
10	25	62,1	48,5	0,403	0,781	0,012	0,404	1
11	30	68,6	59,0	0,437	0,860	0,007	0,444	7
12	30	60,3	59,2	0,498	0,982	0,007	0,507	9
13	30	54,0	59,2	0,556	1,096	0,008	0,565	9
14	30	50,8	59,0	0,591	1,161	0,010	0,598	7
15	30	44,9	59,2	0,668	1,318	0,009	0,679	11
16	30	41,8	59,0	0,718	1,411	0,012	0,726	8
17	40	51,4	78,5	0,778	1,527	0,014	0,786	8
18	40	48,5	78,1	0,825	1,610	0,020	0,828	3
19	40	43,9	77,8	0,911	1,772	0,025	0,911	0
20	40	39,9	78,0	1,003	1,955	0,025	1,005	2
21	40	36,0	77,9	1,111	2,164	0,029	1,112	1
22	40	33,2	77,9	1,205	2,346	0,032	1,205	6
23	40	30,1	77,6	1,329	2,578	0,040	1,3235	0
24	50	35,3	97,2	1,416	2,754	0,039	1,414	2
25	50	32,9	97,1	1,520	2,951	0,044	1,514	6
26	50	31,3	97,4	1,597	3,112	0,041	1,597	0
27	50	29,0	97,1	1,724	3,348	0,050	1,7175	7
28	50	27,4	97,1	1,825	3,544	0,053	1,818	7
29	50	24,2	97,3	1,908	3,714	0,051	1,905	3
30	50	24,7	97,5	2,024	3,947	0,050	2,024	0
31	50	23,2	97,5	2,155	4,203	0,053	2,155	0
32	50	21,4	97,5	2,336	4,556	0,058	2,336	0
33	50	20,1	97,5	2,488	4,851	0,062	2,487	1
34	50	18,6	97,8	2,688	5,258	0,059	2,695	7
35	50	16,7	97,6	2,994	5,844	0,072	2,995	1
36	50	15,2	97,5	3,289	6,414	0,082	3,287	2
37	45	12,5	87,9	3,600	7,032	0,084	3,603	3
38	50	13,0	97,5	3,846	7,500	0,096	3,846	4
39	50	11,8	97,6	4,237	8,271	0,101	4,237	0
40	50	11,2	97,6	4,404	8,714	0,107	4,464	0
								56,984 111,021

Für $v = 0,075$ bis $4,237$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0042 \\ b = 0,5118 \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{2034}{38}} = \sqrt{53,5} = 7,3 \text{ mm.}$$

W = Weg in m.
 t = Zeit in Sekunden.
 U = Zahl der Umdrehungen auf der Strecke W .
 v = beobachtete Geschwindigkeit in m/Sek.

Nr. XVI. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten = 5°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	v (W/t)	n (u/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	v n	v'	f	f ²											
1	15	183,0	20,0	0,082	0,109	0,011 881	0,055	0,027	0,008 938	0,064	+18	324											
2	20	156,6	36,0	0,128	0,230	0,052 900	0,115	0,013	0,029 440	0,126	+2	4											
3	15	92,5	27,8	0,162	0,301	0,090 601	0,151	0,011	0,048 762	0,162	0	—											
4	5	52,7	18,2	0,190	0,345	0,119 025	0,173	0,017	0,065 550	0,185	+2	25											
5	10	50,2	18,5	0,199	0,369	0,136 161	0,185	0,014	0,073 431	0,197	+1	1											
6	20	81,9	38,0	0,244	0,464	0,215 296	0,232	0,012	0,113 216	0,245	1	1											
7	20	71,2	38,8	0,281	0,545	0,297 025	0,273	0,008	0,153 145	0,287	—	36											
8	20	62,8	38,7	0,318	0,616	0,379 456	0,308	0,010	0,195 888	0,323	5	25											
9	25	70,1	47,7	0,357	0,680	0,462 400	0,340	0,017	0,242 760	0,355	+2	4											
10	25	63,8	48,5	0,392	0,760	0,577 600	0,380	0,012	0,297 920	0,396	—	16											
11	25	56,9	48,5	0,439	0,852	0,725 904	0,426	0,013	0,374 028	0,443	—	16											
12	25	49,8	48,3	0,502	0,970	0,940 900	0,485	0,017	0,486 940	0,503	1	1											
13	30	55,2	58,3	0,543	1,056	1,151 136	0,528	0,015	0,573 408	0,547	—	16											
14	30	47,4	58,2	0,594	1,152	1,327 104	0,576	0,018	0,684 288	0,596	—	4											
15	30	40,7	58,7	0,642	1,257	1,580 049	0,629	0,013	0,806 994	0,649	7	49											
16	30	42,4	58,5	0,708	1,380	1,904 400	0,690	0,018	0,977 040	0,712	—	16											
17	30	39,2	58,7	0,765	1,497	2,241 009	0,749	0,016	1,145 205	0,771	—	36											
18	40	50,0	77,8	0,800	1,556	2,421 136	0,778	0,022	1,244 800	0,802	2	4											
19	40	44,0	78,0	0,976	1,743	3,038 049	0,872	0,021	1,556 499	0,897	—	16											
20	40	41,0	78,0	1,093	1,902	3,617 604	0,951	0,025	1,856 352	0,978	—	4											
21	40	36,6	78,0	1,199	2,131	4,541 161	1,066	0,027	2,329 183	1,094	—	1											
22	40	33,6	78,0	1,311	2,321	5,387 041	1,161	0,029	2,761 990	1,191	—	1											
23	40	30,5	78,0	1,497	2,557	6,538 249	1,279	0,032	3,352 227	1,311	0	—											
24	50	36,2	97,5	1,381	2,693	7,252 249	1,347	0,034	3,719 033	1,381	—	16											
25	50	33,4	97,3	1,497	2,913	8,485 569	1,457	0,040	4,360 761	1,493	4	16											
26	50	31,7	97,4	1,577	3,073	9,443 329	1,537	0,040	4,846 121	1,574	3	9											
27	50	29,8	97,3	1,678	3,265	10,660 225	1,633	0,045	5,478 670	1,672	6	36											
28	50	28,0	97,3	1,786	3,475	12,075 625	1,738	0,048	6,206 350	1,779	7	49											
29	50	26,7	97,3	1,873	3,644	13,278 736	1,822	0,051	6,825 212	1,865	8	64											
30	50	25,2	97,7	1,984	3,877	15,031 129	1,939	0,045	7,691 968	1,984	0	—											
31	50	22,6	97,7	2,212	4,323	18,688 329	2,162	0,050	9,562 476	2,211	1	1											
32	50	20,3	97,8	2,463	4,818	23,213 124	2,409	0,054	11,866 734	2,463	0	—											
33	50	18,1	97,9	2,762	5,409	29,257 281	2,705	0,057	14,939 658	2,764	2	4											
34	50	16,9	98,0	2,959	5,799	33,628 401	2,899	0,060	17,159 241	2,963	—	16											
35	50	14,7	97,9	3,401	6,660	44,355 600	3,330	0,071	22,650 660	3,402	1	1											
36	50	13,4	97,8	3,731	7,299	53,275 401	3,650	0,081	27,232 569	3,727	1	1											
37	50	12,3	97,9	4,065	7,959	63,345 681	3,980	0,085	32,353 335	4,064	1	1											
38	50	11,3	98,0	4,425	8,673	75,220 929	4,337	0,088	38,378 025	4,427	2	4											
												50,505	98,132	452,553	266							2014	
												232,291	404										

Für $v = 0,082$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0088 \\ b = 0,5094. \end{cases}$

$$M = \sqrt[36]{820} = 4,8 \text{ mm.}$$

n = sekundliche Zahl der Umdrehungen.
 v' = errechnete Geschwindigkeit in m/Sek.
 $f = v - v'$, wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung.

Nr. XVII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten = 10°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	v (W/t)	n (u/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	v n	v'	f	f ²											
1	15	171,0	20,2	0,088	0,118	0,013 924	0,059	0,029	0,010 384	0,069	+19	361											
2	20	161,0	32,2	0,124	0,200	0,040 000	0,100	0,024	0,024 800	0,111	+13	169											
3	20	124,5	35,0	0,161	0,281	0,078 961	0,141	0,020	0,045 241	0,152	0	—											
4	20	99,8	37,4	0,200	0,375	0,140 625	0,188	0,012	0,075 000	0,200	+	81											
5	20	83,8	38,0	0,239	0,453	0,205 209	0,227	0,012	0,108 267	0,241	—	1											
6	25	90,0	47,3	0,278	0,526	0,276 676	0,263	0,015	0,146 228	0,278	0	—											
7	25	77,7	47,4	0,322	0,610	0,372 100	0,305	0,017	0,196 420	0,321	+	1											
8	25	70,2	48,0	0,356	0,684	0,467 856	0,342	0,014	0,243 504	0,358	—	4											
9	25	60,0	47,9	0,417	0,798	0,636 804	0,399	0,018	0,332 766	0,417	—	4											
10	25	57,6	48,1	0,431	0,835	0,697 225	0,418	0,016	0,362 390	0,436	—	4											
11	25	51,0	48,2	0,490	0,945	0,893 025	0,473	0,017	0,463 050	0,492	—	4											
12	25	45,8	48,2	0,546	1,052	1,106 704	0,526	0,020	0,574 392	0,547	—	1											
13	30	50,3	58,1	0,596	1,155	1,334 025	0,578	0,018	0,688 380	0,599	—	9											
14	30	46,8	58,2	0,641	1,244	1,547 536	0,622	0,019	0,797 404	0,645	—	16											
15	30	42,7	58,2	0,703	1,363	1,857 769	0,682	0,021	0,958 189	0,706	—	9											
16	30	39,2	58,2	0,765	1,485	2,205 225	0,743	0,022	1,136 025	0,768	—	3											
17	40	44,5	77,8	0,816	1,588	2,521 744	0,794	0,022	1,295 808	0,821	—	25											
18	40	40,8	77,8	0,899	1,748	3,055 504	0,874	0,025	1,571 452	0,903	—	16											
19	40	40,8	77,8	0,980	1,907	3,636 649	0,954	0,026	1,868 860	0,984	—	16											
20	40	36,8	77,7	1,087	2,111	4,456 321	1,056	0,031	2,284 637	1,088	—	1											
21	40	33,4	77,9	1,198	2,332	5,438 224	1,166	0,032	2,793 736	1,201	—	9											
22	40	30,5	77,9	1,311	2,554	6,522 916	1,277	0,034	3,348 294	1,315	—	16											
23	50	35,4	97,3	1,412	2,749	7,557 001	1,375	0,037	3,881 588	1,414	—	4											
24	50	33,6	97,2	1,488	2,893	8,369 449	1,447	0,041	4,304 784	1,488	0	—											
25	50	31,9	97,2	1,567	3,047	9,284 209	1,524	0,043	4,774 649	1,567	0	—											
26	50	29,7	97,1	1,684	3,269	10,686 361	1,635	0,049	5,504 996	1,681	+	5											
27	50	28,1	97,2	1,779	3,459	11,964 681	1,730	0,049	6,153 561	1,778	+	1											
28	50	26,4	97,2	1,894	3,682	13,557 124	1,841	0,053	6,973 708	1,892	2	4											
29	50	25,4	97,3	1,969	3,831	14,676 561	1,916	0,053	7,543 239	1,968	+	1											
30	50	22,3	97,5	2,242	4,372	19,114 384	2,186	0,056	9,802 024	2,244	—	4											
31	50	20,3	97,5	2,463	4,803	23,068 809	2,402	0,061	11,829 789	2,465	—	4											
32	50	18,2	97,6	2,747	5,363	28,761 769	2,682	0,065	14,732 161	2,751	—	4											
33	50	16,4	97,9	3,049	5,970	35,640 900	2,985	0,064	18,202 530	3,062	—	16											
34	50	15,0	98,0	3,333	6,533	42,680 089	3,267	0,066	21,774 489	3,350	—	17											
35	50	13,5	97,7	3,704	7,237	52,374 169	3,619	0,085	26,805 848	3,710	—	36											
36	50	12,2	97,2	4,098	7,997	63,473 089	3,984	0,114	32,648 766	4,083	—	225											
37	50	11,3	97,1	4,425	8,593	73,839 649	4,297	0,128	38,024 025	4,403	—	484											
												50,505	98,132	452,553	266							2014	
												232,291	404										

Für $v = 0,088$ bis $4,425$ m/Sek.: $v = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0086 \\ b = 0,5114. \end{cases}$

$$M = \sqrt[35]{2014} = 7,6 \text{ mm.}$$

Nr. XIX. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten = 30°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U (W/t)	v (W/t)	n (n/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	v n	v'	f	f ²							
1	20	220,0	21,0	0,091	0,095	0,009 025	0,048	0,043	0,008 645	0,071	1	1							
2	20	156,0	27,1	0,128	0,174	0,030 276	0,087	0,041	0,022 272	0,119	9	81							
3	20	119,8	28,8	0,167	0,240	0,057 600	0,120	0,047	0,040 080	0,159	8	64							
4	20	95,0	30,7	0,211	0,323	0,104 329	0,162	0,049	0,068 153	0,210	1	1							
5	25	101,7	39,1	0,246	0,384	0,147 456	0,192	0,054	0,094 464	0,247	1	1							
6	25	87,7	39,3	0,285	0,448	0,200 704	0,224	0,061	0,127 680	0,286	1	1							
7	25	76,0	40,1	0,329	0,528	0,278 784	0,264	0,065	0,173 712	0,335	6	36							
8	25	69,9	40,3	0,358	0,577	0,332 929	0,289	0,069	0,206 566	0,366	7	49							
9	25	63,2	40,8	0,396	0,646	0,417 316	0,323	0,073	0,255 816	0,407	11	121							
10	30	68,8	48,0	0,436	0,698	0,487 204	0,349	0,087	0,304 328	0,439	3	9							
11	30	62,6	48,2	0,479	0,770	0,592 900	0,385	0,094	0,368 830	0,483	4	16							
12	30	56,7	48,2	0,529	0,850	0,722 500	0,425	0,104	0,449 650	0,532	3	9							
13	30	51,2	48,0	0,586	0,938	0,879 844	0,469	0,117	0,549 668	0,585	1	1							
14	30	46,8	48,7	0,641	1,041	1,083 681	0,521	0,120	0,667 281	0,648	7	49							
15	30	43,0	48,5	0,698	1,128	1,272 384	0,564	0,134	0,787 344	0,701	3	9							
16	30	40,0	48,9	0,750	1,223	1,495 729	0,612	0,138	0,917 250	0,759	9	81							
17	30	37,6	49,0	0,798	1,287	1,656 369	0,644	0,154	1,027 026	0,799	1	1							
18	30	33,3	49,0	0,901	1,471	2,163 841	0,736	0,165	1,325 371	0,911	10	100							
19	40	40,4	64,8	0,990	1,604	2,572 816	0,802	0,188	1,587 960	0,992	2	4							
20	40	36,7	64,8	1,090	1,766	3,118 756	0,883	0,207	1,924 940	1,091	1	1							
21	40	33,4	64,8	1,198	1,940	3,763 600	0,970	0,228	2,324 120	1,197	1	1							
22	40	30,4	65,0	1,316	2,138	4,571 044	1,069	0,247	2,813 608	1,318	2	4							
23	50	35,8	80,7	1,397	2,254	5,080 516	1,127	0,270	3,148 838	1,389	8	64							
24	50	32,5	80,8	1,538	2,486	6,180 196	1,243	0,295	3,823 468	1,531	7	49							
25	50	31,2	81,0	1,603	2,596	6,739 216	1,288	0,315	4,161 888	1,598	5	25							
26	50	29,5	81,0	1,695	2,746	7,540 516	1,373	0,322	4,654 470	1,689	6	36							
27	50	28,0	81,1	1,786	2,896	8,386 816	1,448	0,338	5,172 256	1,781	5	25							
28	50	26,5	81,2	1,887	3,064	9,388 096	1,532	0,355	5,781 768	1,883	4	16							
29	50	25,2	81,0	1,984	3,214	10,329 796	1,607	0,377	6,376 576	1,975	9	81							
30	50	22,3	81,5	2,242	3,655	13,359 024	1,828	0,414	8,194 510	2,244	2	4							
31	50	20,0	81,5	2,500	4,075	16,605 625	2,038	0,462	10,187 500	2,501	1	1							
32	50	18,0	81,5	2,778	4,528	20,502 784	2,264	0,514	12,578 784	2,777	1	1							
33	50	16,4	82,0	3,049	5,000	25,000 000	2,500	0,549	15,245 000	3,066	17	289							
34	50	14,9	81,2	3,356	5,450	29,702 500	2,725	0,631	18,290 200	3,340	16	256							
35	50	13,5	82,0	3,704	6,074	36,893 476	3,037	0,667	22,498 096	3,721	17	289							
36	50	12,0	81,5	4,167	6,792	46,131 264	3,396	0,771	28,302 264	4,160	7	49							
												46,309	75,089	267,798 913				164,459 882	2224

Für v = 0,091 bis 4,167 m/Sek.: v = a + b · n.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0127 \\ b = 0,6106. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{f^2}{s-2}} = \sqrt{\frac{2224}{34}} = \sqrt{65,41} = 8,08 \text{ mm.}$$

Nr. XVIII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten = 15°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U (W/t)	v (W/t)	n (n/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	v n	v'	f	f ²							
1	15	177,0	16,0	0,085	0,090	0,008 100	0,045	0,040	0,007 650	0,058	1	1							
2	15	173,5	19,2	0,086	0,111	0,012 321	0,056	0,030	0,009 546	0,070	16	256							
3	15	149,0	21,3	0,101	0,143	0,020 449	0,072	0,029	0,014 443	0,087	14	196							
4	20	144,5	32,3	0,138	0,224	0,050 176	0,112	0,026	0,030 912	0,130	8	64							
5	20	126,8	34,3	0,158	0,271	0,073 441	0,136	0,022	0,042 818	0,155	3	9							
6	20	104,5	35,3	0,191	0,338	0,114 244	0,169	0,022	0,064 558	0,190	1	1							
7	20	86,2	35,8	0,232	0,415	0,172 225	0,208	0,024	0,096 280	0,231	1	1							
8	20	74,0	36,8	0,270	0,497	0,247 009	0,249	0,021	0,134 190	0,275	5	25							
9	20	65,3	37,0	0,306	0,567	0,321 489	0,284	0,022	0,173 502	0,312	6	36							
10	30	86,8	54,8	0,346	0,631	0,398 161	0,316	0,030	0,218 326	0,346	0	36							
11	30	77,3	55,7	0,388	0,721	0,519 841	0,361	0,027	0,279 748	0,394	2	4							
12	30	69,0	55,3	0,435	0,801	0,641 601	0,401	0,034	0,348 435	0,437	6	36							
13	30	62,0	55,7	0,484	0,898	0,806 404	0,449	0,035	0,434 632	0,489	5	25							
14	30	55,2	55,6	0,543	1,007	1,014 049	0,504	0,039	0,546 801	0,547	4	16							
15	30	50,5	55,9	0,594	1,107	1,225 449	0,554	0,040	0,670 965	0,600	6	36							
16	30	46,1	56,0	0,651	1,215	1,476 225	0,608	0,043	0,790 965	0,657	6	36							
17	30	43,3	56,0	0,693	1,293	1,671 849	0,647	0,046	0,896 049	0,699	6	36							
18	30	39,5	55,9	0,759	1,415	2,002 225	0,708	0,051	1,073 985	0,764	5	25							
19	40	49,2	75,0	0,813	1,524	2,322 576	0,762	0,051	1,239 012	0,822	9	81							
20	40	45,0	74,4	0,889	1,653	2,732 409	0,827	0,062	1,469 517	0,891	2	4							
21	40	40,4	74,6	0,990	1,847	3,411 409	0,924	0,066	1,828 530	0,994	4	16							
22	40	36,7	74,7	1,090	2,035	4,141 225	1,018	0,072	2,218 150	1,094	4	16							
23	40	33,6	74,5	1,190	2,217	4,915 089	1,109	0,081	2,638 230	1,191	1	1							
24	40	30,6	74,8	1,307	2,444	5,973 136	1,222	0,085	3,194 308	1,312	5	25							
25	40	30,0	74,8	1,333	2,493	6,215 049	1,247	0,086	3,323 169	1,338	5	25							
26	50	35,0	93,2	1,429	2,663	7,091 569	1,332	0,097	3,805 427	1,429	0	25							
27	50	32,4	93,2	1,543	2,877	8,277 129	1,439	0,104	4,439 211	1,542	0	25							
28	50	31,4	93,2	1,592	2,968	8,809 024	1,484	0,108	4,725 056	1,590	2	4							
29	50	29,6	93,2	1,689	3,149	9,916 201	1,575	0,114	5,318 661	1,687	2	4							
30	50	27,8	93,5	1,798	3,363	11,309 769	1,682	0,116	6,046 674	1,801	3	9							
31	50	26,1	93,3	1,916	3,575	12,780 625	1,788	0,128	6,849 700	1,914	2	4							
32	50	25,0	93,3	2,000	3,732	13,927 824	1,866	0,134	7,464 000	1,998	2	4							
33	50	22,3	93,5	2,242	4,193	17,581 249	2,097	0,145	9,400 706	2,243	1	1							
34	50	19,8	93,8	2,525	4,737	22,439 169	2,369	0,156	11,960 925	2,533	8	64							
35	50	18,2	93,8	2,747	5,154	26,563 716	2,577	0,170	14,158 038	2,755	8	64							
36	50	16,4	93,7	3,049	5,713	32,638 369	2,857	0,192	17,418 937	3,053	4	16							
37	50	14,9	93,5	3,356	6,275	39,375 625	3,138	0,218	21,059 900	3,352	4	16							
38	50	13,8	93,4	3,623	6,768	45,805 824	3,384	0,239	24,520 464	3,615	8	64							
39	50	12,4	93,3	4,032	7,524	56,610 576	3,762	0,270	30,336 768	4,017	15	225							
												47,613	88,648	353,612 820				189,234 781	2174

Für v = 0,085 bis 4,032 m/Sek.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0103 \\ b = 0,5326. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{2174}{37}} = \infty 7,7 \text{ mm.}$$

Nr. XXI. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Lotrechten = 1° 30'.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	v (W/t)	n (u/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	vn	v'	f	f ²			
1	10	111,0	12,0	0,090	0,108	0,011 664	0,054	0,036	0,009 720	0,070	1	1			
2	15	138,2	21,4	0,109	0,155	0,024 025	0,078	0,031	0,016 895	0,094	1	1			
3	20	137,8	33,5	0,145	0,243	0,059 049	0,122	0,023	0,035 235	0,139	1	1			
4	20	108,5	35,7	0,184	0,329	0,108 241	0,165	0,019	0,060 536	0,183	1	1			
5	20	87,8	37,2	0,228	0,424	0,179 776	0,212	0,016	0,096 672	0,231	1	1			
6	20	76,0	37,8	0,263	0,497	0,247 009	0,249	0,014	0,130 711	0,268	1	1			
7	20	66,0	38,0	0,303	0,576	0,331 776	0,288	0,015	0,174 528	0,308	1	1			
8	25	72,8	47,3	0,343	0,650	0,422 500	0,325	0,018	0,222 950	0,345	1	1			
9	25	65,6	48,1	0,381	0,735	0,540 225	0,368	0,013	0,280 035	0,389	1	1			
10	25	55,5	48,2	0,450	0,867	0,751 689	0,434	0,016	0,390 150	0,455	1	1			
11	25	49,8	48,2	0,502	0,968	0,937 024	0,484	0,018	0,485 936	0,507	1	1			
12	30	52,6	57,8	0,570	1,099	1,207 801	0,550	0,020	0,626 430	0,573	1	1			
13	30	49,2	57,8	0,610	1,175	1,380 625	0,588	0,022	0,716 750	0,612	1	1			
14	30	42,8	58,2	0,701	1,360	1,849 600	0,680	0,021	0,953 360	0,706	1	1			
15	30	36,6	58,2	0,820	1,590	2,328 100	0,795	0,025	1,303 800	0,822	1	1			
16	40	44,8	77,8	0,893	1,737	3,017 169	0,869	0,024	1,551 141	0,897	1	1			
17	40	39,7	77,7	1,008	1,957	3,829 849	0,979	0,029	1,972 656	1,008	1	1			
18	40	36,2	77,8	1,105	2,149	4,618 201	1,075	0,030	2,374 645	1,106	1	1			
19	40	32,7	77,7	1,223	2,376	5,645 376	1,188	0,035	2,905 848	1,221	1	1			
20	40	30,0	77,8	1,333	2,593	6,723 649	1,297	0,036	3,456 469	1,331	1	1			
21	50	35,4	97,5	1,412	2,754	7,984 516	1,377	0,035	3,888 648	1,413	1	1			
22	50	33,5	97,5	1,493	2,910	8,468 100	1,455	0,038	4,344 630	1,492	1	1			
23	50	31,1	97,4	1,608	3,132	9,809 424	1,566	0,042	5,036 256	1,604	1	1			
24	50	29,2	97,5	1,712	3,339	11,148 921	1,670	0,042	5,716 368	1,709	1	1			
25	50	27,8	97,8	1,799	3,518	12,376 324	1,759	0,040	6,328 882	1,800	1	1			
26	50	26,2	97,8	1,908	3,733	13,935 289	1,867	0,041	7,122 564	1,909	1	1			
27	50	24,8	97,7	2,006	3,940	15,323 600	1,970	0,036	7,903 640	2,014	1	1			
28	50	21,9	97,8	2,283	4,466	19,945 156	2,233	0,050	10,195 878	2,281	1	1			
29	50	19,8	98,0	2,525	4,949	24,492 601	2,475	0,056	12,496 225	2,526	1	1			
30	50	17,8	98,0	2,809	5,506	30,316 036	2,753	0,056	15,466 354	2,808	1	1			
31	50	16,7	98,2	2,994	5,880	34,574 400	2,940	0,054	17,604 720	2,998	1	1			
32	50	14,7	98,2	3,401	6,680	44,622 400	3,340	0,061	22,718 680	3,404	1	1			
33	50	13,3	98,0	3,759	7,368	54,287 424	3,684	0,075	27,696 312	3,753	1	1			
34	50	12,3	98,1	4,065	7,976	63,616 576	3,988	0,077	32,422 440	4,061	1	1			
											45,035	87,739	385,114 115	196,706 064	1082

Für $v = 0,090$ bis $4,065$ m/Sek.
 Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0157 \\ b = 0,5072. \end{cases}$
 $M = \sqrt{\frac{1082}{32}} = 33,8 = 5,8$ mm.

Nr. XX. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Wagerechten = 60°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	v (W/t)	n (u/t)	n ²	n ³ v'' = 0,5 n	n ⁴ Δv = v - v''	vn	v'	f	f ²			
1	20	148,0	9,2	0,135	0,062	0,003 844	0,031	0,104	0,008 370	0,079	1	1			
2	20	116,0	11,8	0,172	0,102	0,010 404	0,051	0,121	0,017 544	0,138	1	1			
3	20	92,0	12,9	0,217	0,140	0,019 600	0,070	0,147	0,030 380	0,194	1	1			
4	20	79,0	13,2	0,253	0,167	0,027 889	0,084	0,169	0,042 251	0,234	1	1			
5	25	86,2	16,8	0,290	0,195	0,038 025	0,098	0,192	0,056 550	0,275	1	1			
6	20	60,8	13,6	0,329	0,224	0,050 176	0,112	0,217	0,073 696	0,317	1	1			
7	25	66,8	17,2	0,374	0,257	0,066 049	0,129	0,245	0,096 118	0,366	1	1			
8	25	62,2	17,3	0,402	0,278	0,077 284	0,139	0,263	0,111 756	0,397	1	1			
9	25	55,8	17,2	0,448	0,308	0,094 864	0,154	0,294	0,137 984	0,441	1	1			
10	30	60,1	20,8	0,499	0,346	0,119 716	0,173	0,326	0,172 654	0,497	1	1			
11	30	54,3	20,7	0,552	0,381	0,145 161	0,191	0,361	0,210 312	0,549	1	1			
12	25	41,2	17,3	0,607	0,420	0,176 400	0,210	0,397	0,254 940	0,606	1	1			
13	30	43,0	20,8	0,698	0,484	0,234 256	0,242	0,456	0,337 832	0,701	1	1			
14	30	36,7	21,0	0,817	0,572	0,327 184	0,286	0,531	0,467 324	0,830	1	1			
15	30	33,3	21,0	0,901	0,631	0,398 161	0,316	0,585	0,568 531	0,917	1	1			
16	40	38,4	28,0	1,042	0,729	0,531 441	0,365	0,677	0,759 618	1,062	1	1			
17	40	35,2	27,9	1,136	0,793	0,628 849	0,397	0,739	0,900 848	1,156	1	1			
18	40	32,5	27,8	1,231	0,855	0,731 025	0,428	0,803	1,052 505	1,247	1	1			
19	40	29,7	27,8	1,347	0,936	0,876 096	0,468	0,879	1,260 792	1,367	1	1			
20	50	35,0	34,8	1,429	0,994	0,988 036	0,497	0,932	1,420 426	1,452	1	1			
21	50	32,6	34,7	1,534	1,064	1,132 096	0,532	1,002	1,632 176	1,555	1	1			
22	50	30,8	34,7	1,623	1,127	1,270 129	0,564	1,059	1,829 121	1,648	1	1			
23	50	29,9	34,7	1,672	1,161	1,347 921	0,581	1,091	1,941 192	1,698	1	1			
24	50	27,7	34,6	1,805	1,249	1,560 001	0,625	1,180	2,254 445	1,828	1	1			
25	50	26,3	34,5	1,901	1,312	1,721 344	0,656	1,245	2,494 112	1,920	1	1			
26	50	24,7	34,5	2,024	1,397	1,951 609	0,699	1,325	2,827 528	2,046	1	1			
27	50	22,2	34,5	2,252	1,554	2,414 916	0,777	1,475	3,499 608	2,276	1	1			
28	50	20,1	34,4	2,488	1,711	2,927 521	0,856	1,632	4,256 968	2,508	1	1			
29	50	17,8	34,2	2,809	1,921	3,690 241	0,961	1,848	5,396 089	2,818	1	1			
30	50	16,5	34,1	3,030	2,067	4,272 489	1,034	1,996	6,263 010	3,033	1	1			
31	50	14,8	33,7	3,378	2,277	5,184 729	1,139	2,239	7,691 706	3,342	1	1			
32	50	13,5	33,1	3,704	2,452	6,012 304	1,226	2,478	9,082 208	3,600	1	1			
											41,099	28,166	39,029 760	57,148 596	24372

Für $v = 0,135$ bis $3,704$ m/Sek.
 Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = -0,0122 \\ b = 1,4730. \end{cases}$
 $M = \sqrt{\frac{24372}{32}} = 27,6$ mm.

Nr. XXII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Lotrechten = 5°.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	ϑ (W/t)	n (u/t)	n^2	$n^3 = \frac{n^2}{0,5n}$	$n^4 = \frac{n^3}{v-v''}$	$v n$	v'	f	f^2
1	10	122,5	11,3	0,082	0,092	0,008 464	0,046	0,036	0,007 544	0,061	+ 21	441
2	15	131,0	23,2	0,115	0,177	0,031 329	0,089	0,026	0,020 355	0,104	+ 11	121
3	20	132,0	34,8	0,152	0,264	0,069 696	0,132	0,020	0,040 128	0,148	+ 4	16
4	20	105,5	36,3	0,190	0,344	0,118 336	0,172	0,018	0,065 360	0,189	+ 1	1
5	20	84,6	37,5	0,236	0,443	0,196 249	0,222	0,014	0,104 548	0,240	- 4	16
6	20	73,5	37,5	0,272	0,510	0,260 100	0,255	0,018	0,138 720	0,274	- 2	4
7	20	64,9	38,2	0,308	0,589	0,346 921	0,295	0,013	0,181 412	0,314	- 6	36
8	25	72,0	47,8	0,347	0,664	0,480 896	0,332	0,015	0,230 408	0,352	- 5	25
9	25	60,6	48,0	0,413	0,792	0,627 264	0,396	0,017	0,327 096	0,418	- 5	25
10	25	56,1	48,0	0,446	0,856	0,732 736	0,428	0,018	0,381 776	0,450	- 4	16
11	25	50,0	48,0	0,500	0,960	0,921 600	0,480	0,020	0,480 000	0,503	- 3	9
12	30	50,8	57,8	0,591	1,135	1,295 044	0,569	0,022	0,672 558	0,594	- 3	9
13	30	39,3	58,0	0,763	1,476	2,178 576	0,738	0,025	1,126 188	0,766	- 3	9
14	40	43,9	77,5	0,911	1,765	3,115 225	0,883	0,028	1,607 915	0,914	- 3	9
15	40	38,5	77,6	1,039	2,016	4,064 256	1,008	0,031	2,094 624	1,042	- 3	9
16	40	32,5	77,3	1,231	2,378	5,654 884	1,189	0,042	2,927 318	1,226	+ 5	25
17	40	29,0	77,6	1,379	2,678	7,160 976	1,338	0,041	3,690 204	1,378	+ 1	1
18	50	33,9	97,0	1,475	2,861	8,185 321	1,431	0,044	4,219 975	1,472	+ 3	9
19	50	30,8	97,2	1,623	3,156	9,960 336	1,578	0,045	5,122 188	1,623	- 1	1
20	50	27,8	97,4	1,799	3,504	12,278 016	1,752	0,047	6,303 696	1,800	- 1	1
21	50	24,8	97,4	2,016	3,927	15,421 329	1,964	0,052	7,916 832	2,016	- 6	36
22	50	22,1	97,7	2,262	4,421	19,545 241	2,211	0,051	10,000 302	2,268	- 7	49
23	50	20,1	97,8	2,488	4,866	23,677 956	2,433	0,055	12,106 608	2,495	- 4	16
24	50	18,1	97,7	2,762	5,398	29,138 404	2,699	0,063	14,909 276	2,766	- 5	25
25	50	16,4	97,8	3,049	5,963	35,557 369	2,982	0,067	18,181 187	3,054	- 5	25
26	50	15,1	97,8	3,311	6,477	41,951 529	3,239	0,072	21,445 347	3,316	- 5	25
27	50	13,8	97,8	3,623	7,087	50,225 469	3,544	0,079	25,676 201	3,627	- 4	16
28	50	12,9	97,4	3,876	7,550	57,002 500	3,775	0,101	29,263 800	3,863	+ 13	169
29	50	12,1	97,4	4,132	8,050	64,802 500	4,025	0,107	33,262 600	4,118	+ 14	196
				41,391	80,400	395,009 022			202,504 166			1314

Für $\vartheta = 0,082$ bis $4,132$ m/Sek.: $\vartheta = a + b \cdot n$.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0137 \\ b = 0,5099. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{f^2}{s-2}} = \frac{1314}{27} = \infty 7 \text{ mm.}$$

Nr. XXIII. Flügel Nr. 385 Schraube 2, an senkrechter 45 mm starker Stange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche, Schiefstellung des Flügels in der Lotrechten = 7° 20'.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	ϑ (W/t)	n (u/t)	n^2	$n^3 = \frac{n^2}{0,5n}$	$n^4 = \frac{n^3}{v-v''}$	$v n$	v'	f	f^2
1	15	141,5	18,0	0,106	0,127	0,016 129	0,064	0,042	0,013 462	0,080	+ 26	676
2	15	119,8	21,3	0,125	0,178	0,031 684	0,089	0,036	0,022 250	0,106	+ 19	361
3	20	123,5	33,0	0,162	0,267	0,071 289	0,134	0,028	0,043 254	0,152	+ 10	100
4	20	99,0	35,0	0,202	0,354	0,125 316	0,177	0,025	0,071 508	0,196	+ 6	36
5	20	83,9	36,0	0,238	0,429	0,184 041	0,215	0,023	0,102 102	0,235	+ 3	9
6	20	77,2	37,1	0,259	0,481	0,231 361	0,241	0,018	0,124 579	0,262	- 3	9
7	25	79,1	46,5	0,316	0,588	0,345 744	0,294	0,022	0,185 808	0,317	- 1	1
8	25	68,0	47,0	0,368	0,691	0,477 481	0,346	0,022	0,254 288	0,370	- 2	4
9	25	59,8	47,6	0,418	0,796	0,633 616	0,388	0,030	0,332 728	0,424	- 6	36
10	25	54,0	47,5	0,463	0,880	0,774 400	0,440	0,025	0,407 440	0,467	- 4	16
11	25	50,6	47,5	0,494	0,939	0,881 721	0,470	0,024	0,463 866	0,497	- 3	9
12	30	50,6	57,3	0,593	1,132	1,281 424	0,566	0,027	0,671 276	0,597	- 4	16
13	30	42,1	57,5	0,713	1,366	1,865 956	0,683	0,030	0,973 958	0,717	- 4	16
14	30	36,0	57,5	0,833	1,597	2,550 409	0,799	0,034	1,330 301	0,836	- 3	9
15	40	43,8	77,0	0,913	1,758	3,090 364	0,879	0,034	1,605 054	0,918	- 5	25
16	40	37,8	77,0	1,058	2,037	4,149 369	1,019	0,039	2,155 146	1,062	- 4	16
17	40	33,9	76,9	1,180	2,268	5,143 824	1,134	0,046	2,676 240	1,181	- 1	1
18	40	29,3	77,2	1,365	2,635	6,943 225	1,318	0,047	3,596 775	1,370	- 5	25
19	50	34,5	96,5	1,449	2,797	7,823 209	1,399	0,050	4,052 853	1,453	- 4	16
20	50	30,8	96,7	1,623	3,140	9,859 600	1,570	0,053	5,096 220	1,629	- 6	36
21	50	28,1	96,8	1,779	3,445	11,868 025	1,723	0,056	6,128 655	1,786	- 7	49
22	50	25,1	96,8	1,992	3,857	14,876 449	1,929	0,063	7,683 144	1,998	- 6	36
23	50	22,3	96,8	2,242	4,341	18,844 281	2,171	0,071	9,732 522	2,247	- 5	25
24	50	20,2	96,9	2,475	4,797	23,011 209	2,399	0,076	11,872 575	2,482	- 7	49
25	50	18,5	96,9	2,703	5,238	27,436 644	2,619	0,084	14,158 314	2,708	- 5	25
26	50	16,4	96,8	3,049	4,902	34,833 604	2,951	0,098	17,995 198	3,050	- 1	1
27	50	15,2	96,8	3,289	6,368	40,551 424	3,184	0,105	20,944 352	3,290	- 1	1
28	50	14,0	96,8	3,571	6,914	47,803,396	3,457	0,114	24,689 868	3,570	+ 1	1
29	50	13,2	96,5	3,788	7,311	53,450 721	3,651	0,137	27,694 068	3,775	+ 13	169
30	50	12,2	96,4	4,098	7,902	62,441 604	3,951	0,147	32,382 396	4,079	+ 19	361
				41,864	80,535	381,597 719			197,460 226			2134

Für $\vartheta = 0,106$ bis $4,098$ m/Sek.

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0147 \\ b = 0,5144. \end{cases}$

$$M = \sqrt{\frac{2134}{28}} = 8,7 \text{ mm.}$$

Nr. XXIV. Flügel Nr. 385 Schraube 2 an einer senkrechten 45 mm starken Holzstange, 0,40 m unter der Wasseroberfläche.

Nr. der Fahrt	W (m)	t (Sek.)	U	v (W/t)	n (u/t)	n ²	v'' = 0,5 n	Δv = v - v''	vn	v'	f	f ²
1	10	116,0	12,5	0,086	0,108	0,011 664	0,054	0,032	0,009 288	0,055	+	31
2	15	123,0	24,0	0,122	0,195	0,038 025	0,098	0,024	0,023 790	0,100	+	22
3	20	125,5	33,6	0,159	0,268	0,071 824	0,134	0,025	0,042 612	0,138	+	21
4	20	101,8	35,0	0,196	0,344	0,118 336	0,172	0,024	0,067 424	0,178	+	18
5	20	83,3	38,5	0,240	0,462	0,213 444	0,231	0,009	0,110 880	0,239	+	1
6	20	73,0	38,2	0,274	0,523	0,273 529	0,262	0,012	0,143 302	0,270	+	4
7	20	64,0	38,2	0,313	0,597	0,356 409	0,299	0,014	0,186 861	0,309	+	4
8	25	71,2	47,5	0,351	0,667	0,444 889	0,334	0,017	0,234 117	0,345	+	6
9	25	63,8	49,0	0,392	0,768	0,589 824	0,384	0,008	0,301 056	0,398	+	6
10	25	57,6	48,8	0,434	0,847	0,717 409	0,424	0,010	0,367 598	0,439	+	5
11	25	50,8	48,5	0,492	0,955	0,912 025	0,478	0,014	0,469 860	0,495	+	3
12	25	41,8	49,6	0,598	1,187	1,408 969	0,594	0,004	0,709 826	0,615	+	17
13	25	35,8	49,0	0,698	1,369	1,874 161	0,685	0,013	0,955 562	0,710	+	12
14	30	36,6	58,0	0,820	1,585	2,512 225	0,793	0,027	1,299 700	0,822	+	2
15	40	43,4	78,5	0,922	1,809	3,272 481	0,905	0,017	1,667 898	0,939	+	17
16	40	38,0	78,2	1,053	2,058	4,235 364	1,029	0,024	2,167 074	1,068	+	15
17	40	33,0	78,2	1,212	2,370	5,616 900	1,185	0,027	2,872 440	1,230	+	18
18	50	36,3	95,7	1,377	2,636	6,948 496	1,318	0,059	3,629 772	1,368	+	9
19	50	32,3	96,8	1,548	2,997	8,982 009	1,499	0,049	4,639 356	1,556	+	8
20	50	30,7	96,5	1,629	3,143	9,878 449	1,572	0,057	5,119 947	1,632	+	3
21	50	27,6	96,7	1,812	3,504	12,278 016	1,752	0,060	6,349 248	1,819	+	7
22	50	24,8	96,5	2,016	3,891	15,139 881	1,946	0,070	7,844 256	2,020	+	4
23	50	21,9	97,0	2,283	4,429	19,616 041	2,215	0,068	10,111 407	2,300	+	17
24	50	20,1	96,8	2,488	4,816	23,193 856	2,408	0,080	11,982 208	2,501	+	13
25	50	18,0	97,2	2,778	5,400	29,160 000	2,700	0,078	15,001 200	2,804	+	26
26	50	16,5	97,5	3,030	5,909	34,916 281	2,955	0,075	17,904 270	3,069	+	39
27	50	15,1	95,8	3,311	6,344	40,246 336	3,172	0,139	21,004 984	3,295	+	16
28	50	13,8	95,5	3,623	6,920	47,886 400	3,460	0,163	25,071 160	3,594	+	29
29	50	12,8	95,0	3,906	7,422	55,086 084	3,711	0,195	28,990 332	3,855	+	51
				38,163	73,523	325,999 327			169,277 428			10196

Für $v = 0,086$ bis $3,906$ m/Sek.

$$\text{Errechnete Konstanten } \begin{cases} a = -0,0012 \\ b = 0,5195. \end{cases} \quad M = \sqrt{\frac{10196}{27}} = 377 = 19,4 \text{ mm.}$$

Nr. XXVI. Flügel Nr. 279 Schraube 2, freie Länge der Stange 1,80 m, gemeinsam mit einem 2. Flügel. Befestigungsfall I.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,44n$	v'	f
1	50	88,2	112,5	0,567	1,28	0,004	0,571	- 4
2	50	74,6	112,5	0,670	1,51	0,006	0,673	- 3
3	50	66,2	112,5	0,755	1,70	0,007	0,757	- 2
4	50	58,0	112,6	0,862	1,94	0,008	0,863	- 1
5	50	46,4	112,5	1,078	2,42	0,013	1,075	+ 3
6	50	42,1	112,6	1,188	2,67	0,013	1,185	+ 3
7	50	38,1	112,5	1,312	2,95	0,014	1,308	+ 4
8	50	30,7	112,8	1,629	3,67	0,014	1,626	+ 3
9	50	27,9	113,0	1,792	4,05	0,010	1,794	- 2
10	50	26,3	113,0	1,901	4,30	0,009	1,904	- 3
11	50	24,5	113,0	2,041	4,61	0,013	2,041	0
12	50	23,0	113,0	2,174	4,91	0,014	2,173	+ 1
13	50	21,8	113,0	2,294	5,18	0,015	2,293	+ 1
14	50	18,8	113,0	2,660	6,01	0,016	2,659	+ 1
15	50	18,1	113,0	2,762	6,24	0,016	2,761	+ 1
16	50	17,9	113,0	2,793	6,31	0,017	2,791	+ 2
17	50	15,6	113,0	3,205	7,24	0,019	3,202	+ 3
18	50	14,2	113,3	3,521	7,98	0,010	3,528	- 7
				33,204		74,97		

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0064 \\ b = 0,4414. \end{cases}$
 $v = a + b \cdot n.$
 $M = \sqrt{\frac{152}{16}} = 3,1 \text{ mm.}$

Nr. XXVII. Flügel Nr. 279 Schraube 2, freie Länge der Stange 1,80 m, gemeinsam mit einem 2. Flügel. Befestigungsfall II.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,44n$	v'	f
1	50	101,3	111,7	0,494	1,10	0,010	0,495	- 1
2	50	68,9	112,6	0,726	1,63	0,009	0,728	- 2
3	50	49,9	112,8	1,002	2,26	0,008	1,006	- 4
4	50	38,8	112,8	1,289	2,91	0,009	1,292	- 3
5	50	32,8	112,8	1,524	3,44	0,010	1,526	- 2
6	50	29,4	112,6	1,701	3,83	0,016	1,697	+ 4
7	50	25,0	112,6	2,000	4,50	0,020	1,992	+ 4
8	50	19,6	112,9	2,551	5,76	0,017	2,547	+ 8
9	50	16,2	112,8	3,086	6,96	0,024	3,076	+ 10
10	50	13,7	113,5	3,650	8,28	0,007	3,657	+ 7
11	50	12,8	113,4	3,906	8,86	0,008	3,913	- 7
				21,929		49,53		

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = 0,0107 \\ b = 0,4404. \end{cases}$
 $v = a + b \cdot n.$
 $M = \sqrt{\frac{328}{9}} = 6,0 \text{ mm.}$

Nr. XXVIII. Flügel Nr. 279 Schraube 2, freie Länge der Stange 2,30 m, gemeinsam mit einem 2. Flügel. Befestigungsfall III.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,44n$	v'	f
1	50	110,5	112,0	0,452	1,01	0,008	0,442	+ 10
2	50	69,2	112,6	0,723	1,63	0,006	0,720	+ 3
3	50	52,2	112,6	0,958	2,16	0,008	0,957	+ 1
4	50	52,1	112,6	0,960	2,16	0,010	0,957	+ 3
5	50	39,7	112,8	1,260	2,84	0,010	1,261	+ 1
6	50	31,5	112,8	1,587	3,58	0,012	1,593	- 6
7	50	27,2	112,9	1,838	4,15	0,012	1,848	- 10
8	50	23,8	112,6	2,101	4,73	0,020	2,107	- 9
9	50	19,5	112,5	2,564	5,77	0,025	2,573	- 6
10	50	16,9	112,0	2,959	6,63	0,042	2,957	+ 2
11	50	13,3	111,6	3,759	8,39	0,067	3,746	+ 13
				19,161		43,05		

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = -0,0097 \\ b = 0,4476. \end{cases}$
 $v = a + b \cdot n.$
 $M = \sqrt{\frac{546}{11-2}} = 7,8 \text{ mm.}$

Nr. XXIX. Flügel Nr. 279, Schraube 2, freie Länge der Stange 3,00 m, gemeinsam mit einem 2. Flügel. Befestigungsfall IV.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,44n$	v'	f
1	50	100,8	112,7	0,496	1,12	0,003	0,489	+ 7
2	50	67,9	112,7	0,736	1,66	0,006	0,733	+ 3
3	50	49,5	112,7	1,010	2,28	0,007	1,012	- 2
4	50	37,3	112,6	1,340	3,02	0,011	1,346	- 6
5	50	29,6	112,1	1,689	3,79	0,021	1,693	- 4
6	50	28,2	112,0	1,773	3,97	0,026	1,774	- 1
7	50	25,5	112,0	1,961	4,39	0,029	1,964	- 3
8	50	19,7	111,6	2,538	5,66	0,048	2,537	+ 1
9	50	16,1	111,2	3,106	6,91	0,066	3,101	+ 5
				14,649		32,80		

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = -0,0161 \\ b = 0,4510. \end{cases}$
 $v = a + b \cdot n.$
 $M = \sqrt{\frac{138}{9-2}} = 4,4 \text{ mm.}$

Nr. XXX. Flügel Nr. 279 Schraube 2, freie Länge der Stange 2,30 m, gemeinsam mit einem 2. Flügel. Befestigungsfall V.

Nr. der Fahrt	W	t	U	v	n	$\Delta v = v - 0,44n$	v'	f
1	45	91,1	100,9	0,494	1,11	0,006	0,488	+ 6
2	50	67,0	112,7	0,746	1,68	0,007	0,742	+ 4
3	50	49,7	112,6	1,006	2,27	0,007	1,006	0
4	50	40,7	112,6	1,229	2,77	0,010	1,229	0
5	50	32,6	112,8	1,534	3,46	0,012	1,537	- 3
6	50	27,7	112,9	1,805	4,08	0,010	1,813	- 8
7	50	25,0	112,8	2,000	4,51	0,016	2,005	- 5
8	50	21,6	112,6	2,315	5,21	0,023	2,318	- 3
9	50	20,0	112,6	2,500	5,63	0,023	2,505	- 5
10	50	17,0	112,0	2,941	6,59	0,041	2,933	+ 8
11	50	14,3	112,1	3,497	7,84	0,047	3,491	+ 6
				20,067		45,15		

Errechnete Konstanten $\begin{cases} a = -0,0075 \\ b = 0,4463. \end{cases}$
 $v = a + b \cdot n.$
 $M = \sqrt{\frac{292}{9}} = 5,7 \text{ mm.}$

Geräte und Einrichtungen der Schiffbauabteilung.

A. Stoff und Herstellung der Modelle.

Die Haupttätigkeit der Schiffbauabteilung bestand bisher in der Vornahme von Modellschleppversuchen nach dem Froudeschen Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes, den die Modelle der Fortbewegung durch das Wasser bei verschiedenen Geschwindigkeiten entgegenseetzen.

Wie bereits früher erwähnt, werden die Schiffmodelle aus Paraffin hergestellt, das sich für diesen Zweck besonders eignet, da es leicht schmelzbar und leicht zu bearbeiten ist. Ferner können Paraffinmodelle, sofern es sich im Laufe des Versuches als wünschenswert herausstellt, ohne Schwierigkeit abgeändert, d. h. durch Angießen verlängert oder durch Abschneiden verkürzt werden. Mehrfach wurden auch im Laufe des Betriebes einzelne Modelle mit Erfolg durch Aufgießen in ihrer Völligkeit nachträglich geändert. Zuletzt kann das Modell nach Beendigung der Versuche wieder eingeschmolzen und der Stoff von neuem für andere Versuche verwendet werden. Der Verlust an Paraffin bei diesem Verfahren ist äußerst gering, er stellt sich nach mehreren Versuchen auf rund 5 vH. für jedes Modell. Wollte man die Modelle aus Holz anfertigen, wie es z. B. in Washington und Übigau geschieht, so würden sich im Laufe der Jahre bei der Aufbewahrung der nicht mehr im Versuch befindlichen Modelle große Unbequemlichkeiten herausstellen.

Die Anstalt besitzt Einrichtungen, um Modelle bis zu 7 m Länge, 1 m Breite und 0,35 m Tiefgang einwandfrei nach Zeichnung maschinenmäßig herzustellen. In einem 8,40 m langen und 1,5 m breiten hölzernen Kasten (Abb. 15 bis 17 Bl. 11 und Text-Abb. 2), der mit gewöhnlichem Modellierton gefüllt ist, wird mit Hilfe von Spantlehren die Hohlform des zu gießenden Modells eingeformt. Um nicht die ganze Form mit Paraffin ausfüllen zu müssen, wird in diese ein Kern gehängt, der aus den Kernschablonen und darüber genagelten Längsleisten gebaut und sodann mit Segeltuch überspannt ist. Während die Formschablonen 5 bis 10 mm breiter sind als das fertige Modell, erhalten die Kernschablonen je nach Größe des Modells eine 30 bis 40 mm geringere Breite, so daß zwischen der Form und dem Kern ein Zwischenraum von 35 bis 50 mm bleibt, der mit flüssigem Paraffin ausgefüllt wird. Der Segeltuchbezug des Kerns wird, um ihn undurchlässig gegen Paraffin zu machen, und um ein Anhaften der Leinwand am Gußkörper zu vermeiden, mit einem mehrfachen Tonanstrich versehen. Jede Kernschablone trägt oben eine Querleiste, mit welcher der Kern nach dem Einbringen in die Form auf einer an der Innenseite der Längswände des Formkastens angebrachten Leiste ruht. Vor dem Gießen muß der Kern durch Aufsetzen von gußeisernen Ballasteisen gegen Aufschwimmen gesichert werden.

Das für die Modelle Verwendung findende Paraffin ist gute Handelsware, die zu gleichen Teilen aus Paraffin von 56/58° und 60/62° C Schmelzpunkt gemischt und je nach der Jahreszeit mit einem Zusatz von 1 bis 3 vH. Bienenwachs versehen wird, um die Masse für die Bearbeitung geschmeidiger zu machen. Das Paraffin wird in einem in der Nähe des Formkastens stehenden Schmelzofen niedergeschmolzen und während einer Nacht flüssig erhalten.

Der Paraffinschmelzofen (Abb. 10 bis 13 Bl. 11) nimmt eine Grundfläche von $1,2 \times 1,2$ m ein. Er besteht

aus einem doppelwandigen, mit Gasheizung versehenen Kessel. In den inneren Kessel, der mit 30 Siederohren von 58 mm Durchmesser versehen ist, wird das Paraffin in Stücken eingebracht. Der Zwischenraum zwischen dem inneren und äußeren Kessel, der an der engsten Stelle rund 80 mm beträgt, sowie die Siederohre sind mit Wasser gefüllt, so daß das Paraffin im Wasserbade erwärmt wird. Der Paraffinbehälter hat einen nutzbaren Inhalt von 500 l; er ist oben mit einer Öffnung zum Einbringen des Paraffins und ungefähr 12,5 cm über seiner Sohle mit einem Ablaufhahn für das flüssige, zu Gußzwecken Verwendung findende Paraffin versehen. Das unter dem Ablaufhahn im Kessel stehende Paraffin, das alle Verunreinigungen — Ton, Schellack, Farbe — enthält, die mit den Paraffinstücken von früheren Modellen in den Ofen kommen, kann durch einen an der Sohle des Paraffinkessels angebrachten Grundhahn zeitweilig abgelassen werden. Durch ein bewegliches Dunstrohr, das nach dem Füllen des Ofens von oben über die Öffnung im losnehmbaren Deckel desselben geschoben wird, werden die bei dem Niederschmelzen des Paraffins entstehenden Dünste durch das Dach in das Freie geleitet. Der Wasserbehälter des Ofens ist mit einem Thermometer, einem Wasserstandsglas, einem Luftrohr und einem

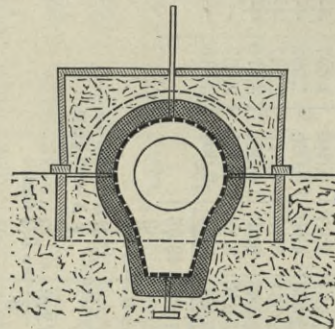


Abb. 1.

an der Sohle befindlichen Ablaufhahn versehen. Das Gas tritt aus vier unter dem Kessel angeordneten, mit zahlreichen Öffnungen versehenen Rohren in den Verbrennungsraum, die Verbrennungsgase werden durch ein Abzugsrohr von 100 mm lichter Weite an der Rückwand des Ofens ins Freie geleitet.

Bei ungefähr 65 bis 70° C ist das Paraffin verwendungsbereit; es wird in einer Blechröhre oder Holzrinne zum Formkasten geleitet (Text-Abb. 3) und füllt den Zwischenraum zwischen Form und Kern aus. Das außerordentlich starke Schwinden des erkaltenden Paraffins macht ein öfteres Nachgießen und zuletzt infolge des schnellen Erstarrens des Paraffins im mittleren Teil des Modelles das Anbringen von zwei ungefähr 20 cm hohen Gußstützen an den Enden des Modelles notwendig. Noch während des Gießens wird der Kern teilweise mit Wasser gefüllt, um sein Gewicht gegen den Auftrieb zu vermehren, um das Durchtreten des Paraffins in den Kern zu verhindern und um das Modell schneller abzukühlen.

Das bisher beschriebene Verfahren findet bei allen oben offenen Modellen Anwendung. Mit Erfolg sind in der Anstalt auch vollkommen geschlossene Körper aus Paraffin hergestellt worden, wie sie Schiffen entsprechen, die unter der Wasseroberfläche fahren sollen. Die Herstellung derartiger Modelle ist ungleich schwieriger und langwieriger, zumal da auch diese Modelle innen einen Hohlraum erhalten müssen, um sie für Fahrten auf dem Wasser und unter der Wasseroberfläche auf verschiedene Tiefgänge ballasten zu können. Außer der Form im großen Formkasten ist eine zweite Form für den oberen Teil in einer Reihe von nebeneinander gestellten Holzkasten herzustellen (Text-Abb. 1). Die einzelnen Kasten werden dann über die Form im Formkasten gesetzt. Zuvor muß jedoch in die Form der Kern

eingbracht werden, der gleichfalls als vollkommen geschlossener Körper aus Spantbrettern und Längsleisten hergestellt ist und anfangs mit einem doppelten Segeltuchbezug

diese Stützen wird der Kern gelegt und durch Querstreben von gleicher Abmessung, die in Höhe der Trennung beider Formhälften zu den Wänden des Formkastens führen, auch seitlich abgestützt. — Besondere Sorgfalt ist darauf zu verwenden, daß beim Gießen die Luft aus der Form und dem Kern entweichen kann. Für den Kern, der mit der freien Luft in Verbindung stehen muß, sind zwei Rohre vorgesehen, von denen das eine bis 10 mm über die Sohle des Kerns reicht, während das andere dicht unter der Decke aufhört.

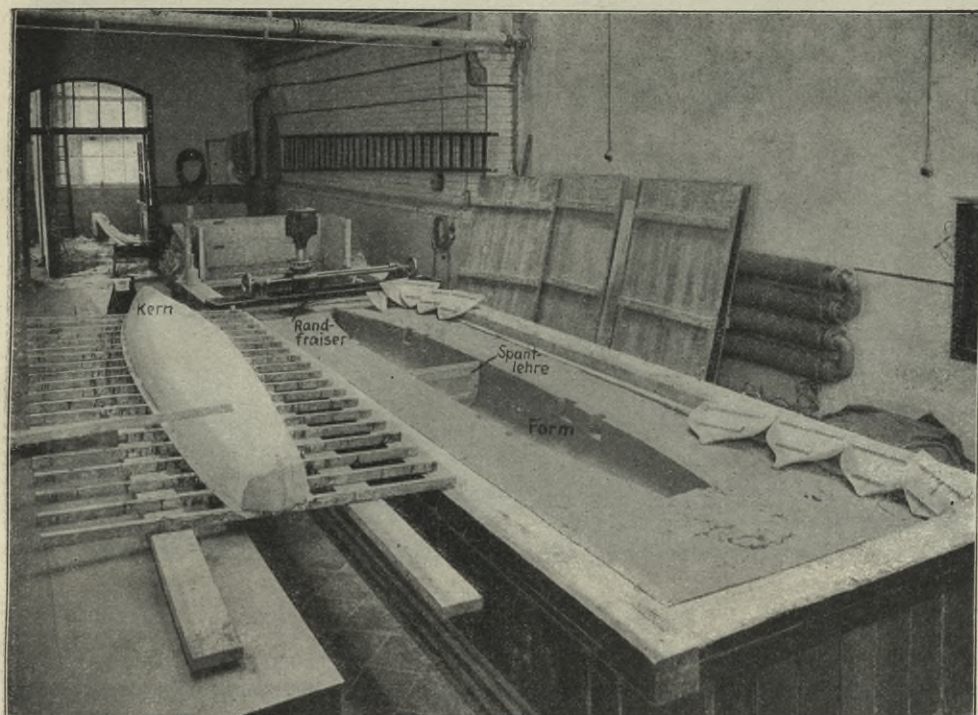


Abb. 2. Form und Kern für ein Modell.

versehen wurde. Um dem später im Paraffin vollkommen untergetauchten Kern ein möglichst großes Gewicht gegen den Auftrieb zu geben, wird in seinem Innern vor dem Aufnageln der Leisten je nach Größe des Modells Bleiballast von 20 bis 50 kg angebracht. Der Kern muß fest und gegen jede Verschiebung gesichert in der Form gelagert werden. Auf dem Boden der Tonform werden über die Länge des

verwendet findet. An den Kern werden bei diesem Verfahren ziemlich hohe Anforderungen gestellt, er muß gegen Paraffin und Wasser gleich undurchlässig sein. Obwohl anfangs für diese Art Kerne ein doppelter Segeltuchbezug genommen und ferner jeder Bezug nach dem Anbringen einen mehrfachen Tonanstrich erhalten hatte, fand sich dennoch bei den ersten nach diesem Verfahren hergestellten Modellen nach dem Zertrümmern

im Kern Paraffin vor, das unter Umständen das Eigengewicht des Modells nachteilig hätte beeinflussen können. Erst als die Anstalt dazu überging, den Kern an Stelle des zweiten Segeltuchbezugs mit gewöhnlichem glatten Packpapier, das mit Schellack befestigt wird, zu bekleben, gelang es, das Paraffin vom Innern des Kerns fernzuhalten. Einen jetzt allerdings behobenen Übelstand wiesen die ersten Vollmodelle aus Paraffin auf. Das fertige Modell zieht sich bei starken Wärmeunterschieden im Arbeitsraum, wie sie im Winter beim Aussetzen der Heizung an mehreren aufeinanderfolgenden Festtagen oder im Sommer nach besonders heißen Wochen eintreten können, zusammen. Da der Kern nicht elastisch ausgeführt werden kann, traten bei einzelnen Modellen Querrisse auf, die nur mit

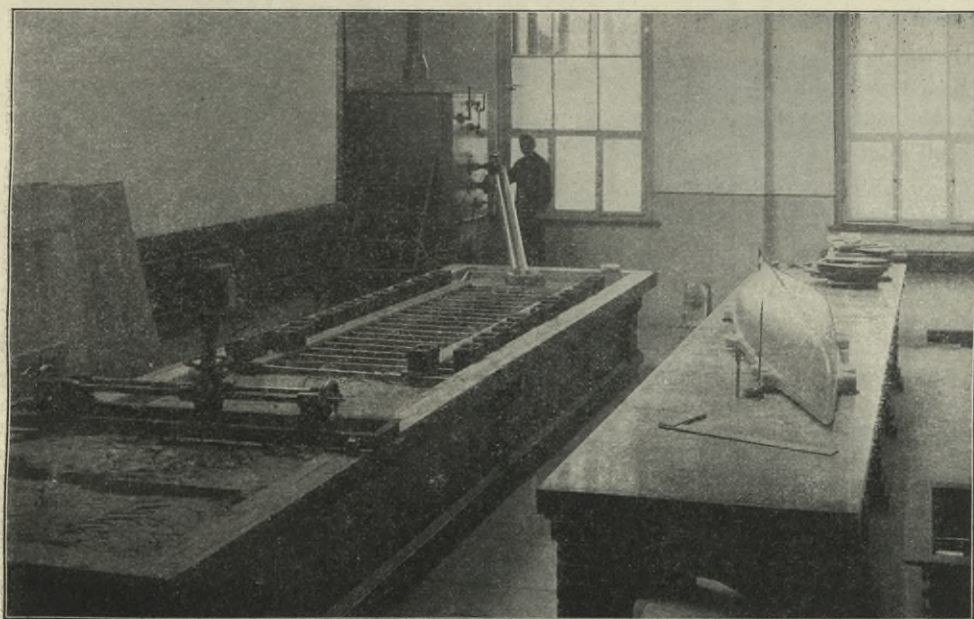


Abb. 3. Paraffinschmelzofen und Formkasten. (Guß eines Modells.)

Kerns gleichmäßig weit verteilt drei bis vier Mauersteine so eingebettet, daß sie nur wenig von Ton bedeckt sind. Auf diese Mauersteine werden hölzerne Vierkantstäbe von 30×30 mm Querschnitt gestellt, die 40 bis 50 mm — entsprechend der Wanddicke des Modells — in die Form hineinragen. Auf

Mühe durch nachheriges Ausgießen beseitigt werden konnten. Jetzt wird der Kern so zusammengebaut, daß er am Tage nach dem Guß aus dem Modell meist durch zwei Öffnungen in der Paraffindecke entfernt werden kann. — Ungefähr 12 bis 15 Stunden nach dem Guß ist das Modell soweit erkaltet,

daß es bearbeitet werden kann. Bei den oben offenen Modellen wird zunächst das Wasser aus dem Kern und dann letzterer selbst entfernt, sodann wird der Rand des Modells, der einen fast halbkreisförmigen Wulst aufweist, mit Hilfe des Randfräasers geebnet, um eine wagerechte Arbeitsfläche für die weitere Bearbeitung des Modells zu schaffen.

Der Randfräser (Text-Abb. 4 u. 5). Ein Muttergehäuse, das in der Querrichtung des Troges verschiebbar auf einer runden Führungsstange und einer Schraubenspindel gelagert ist, trägt eine senkrecht verstellbare, mit flachem Vierkantgewinde versehene Spindel von 75 mm Durchmesser. In dieser Spindel ist — unten und oben auf Kugeln gelagert — eine Welle angeordnet, die an ihrem unteren Ende einen Fräskopf mit zwei Messern trägt. An ihrem oberen Ende ist die Welle mit einem Antriebmotor von $\frac{1}{10}$ PS unmittelbar gekuppelt.

Der ganze Fräser ist auf einem rechteckigen Rahmen aus C-Eisen N. P. 6 befestigt, der auf Rädern auf dem Bord des Formkastens entlang gefahren werden kann. Durch seitliches Verschieben des Fräserkopfes und durch Entlangfahren des Apparates auf dem Bord des Kastens kann daher die ganze Fläche des Formkastens bestrichen werden. Der Fräser macht ungefähr 1800 Umdrehungen in der Minute. Nach dem Abschlichten der Modelloberkante werden in 2,2 m Abstand voneinander zwei hölzerne Querleisten auf dem Rand mit Holzschrauben befestigt. Das Modell ist jetzt im Formkasten fertig bearbeitet. Es wird durch Wasser, das zwischen Modell und Form eingelassen wird, zum Aufschwimmen gebracht, dann mit Hilfe eines am Flaschenzug des Laufkranes befestigten Querbaumes, an dessen Enden zwei Gurte über Rollen laufen, aus der Form gehoben (Abb. 16 Bl. 11).

Das aus dem Formkasten kommende Modell zeigt erst die ungefähren Formen des Schiffes. Seine weitere Bearbeitung erfolgt auf der Modellschneidemaschine, auf der mit Hülfe schnell umlaufender Fräsmesser nach einem vorher angefertigten Fräsplan die Wasserlinien des Schiffes in 10 bis 15 mm Höhenabstand voneinander auf das Modell übertragen, d. h. in dasselbe eingeschnitten werden.

Die Modellschneidemaschine (vgl. Text-Abb. 6 u. 7 und Abb. 4 bis 6 Bl. 5). In einem festen Rahmen *a* aus C-Profilen, der 1,25 m über dem Boden auf zwei gußeisernen Lagerböcken ruht, sind in je einem wagerecht verschiebbaren Schlitten *b*, dessen Gewicht durch Gegengewichte nahezu aufgehoben ist, zwei senkrecht verstellbare hohle Spindeln *c* mit flachen Vierkantgewinden gelagert, die wie die Spindel des Randfräasers eine in Kugellagern laufende Welle umschließen, an deren unterem Ende ein Fräserkopf mit zwei verstellbaren Messern befestigt ist. Auf das obere Ende der den Fräserkopf tragenden Wellen ist als Antrieborrichtung je ein Motor von $\frac{1}{10}$ PS gesetzt. Durch zwei Handräder außerhalb des Rahmens können die

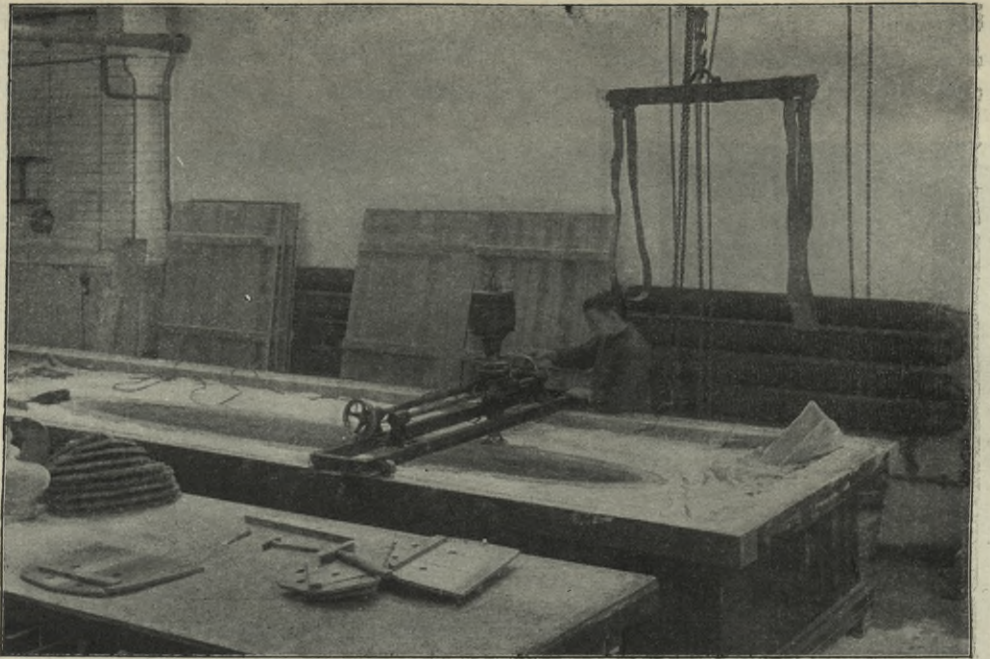


Abb. 4. Fräsen des Modellrandes mit dem Randfräser.

Fräerspindeln in wagerechter und senkrechter Richtung beliebig verstellbar werden. Das aus der Tonform kommende Modell wird in dem 9 m langen und 1,58 m breiten Wagenkieloben fest gelagert. Zu diesem Zwecke sind in die Bodenquerträger des Wagengestelles Haltestifte eingelassen, die in die kreisrunden Löcher der beiden Querleisten des Modells passen. Eine weitere Befestigung des Modells auf dem Wagen ist nicht erforderlich.

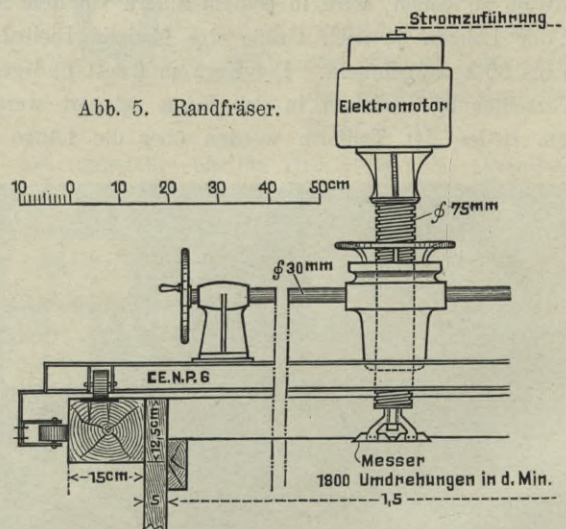


Abb. 5. Randfräser.

Der Wagen ist aus C-Eisen und Winkeln gebaut, so daß ein Verziehen desselben ausgeschlossen ist. Der Boden ist mit einem Plankenbelag versehen, während das Rahmenwerk der Seitenwände zum Abfangen der Paraffinspäne beim Fräsen des Modells mit Segeltuch bespannt ist. Vorn und hinten befinden sich im Boden des Wagens herausnehmbare hölzerne Rahmen mit Segeltuchboden von 1 m Länge, die zum Ansammeln der Paraffinspäne dienen. Der Wagen läuft auf sieben Räderpaaren und rollt auf zwei 18 m langen Schienen. Er wird vorn und hinten durch ein Rollenpaar mit senkrechten Achsen an der einen Schiene geführt. Neben dem Wagen und parallel zu ihm ist 1,1 m über dem Erdboden ein 4 m langer und 0,7 m breiter Zeichentisch auf

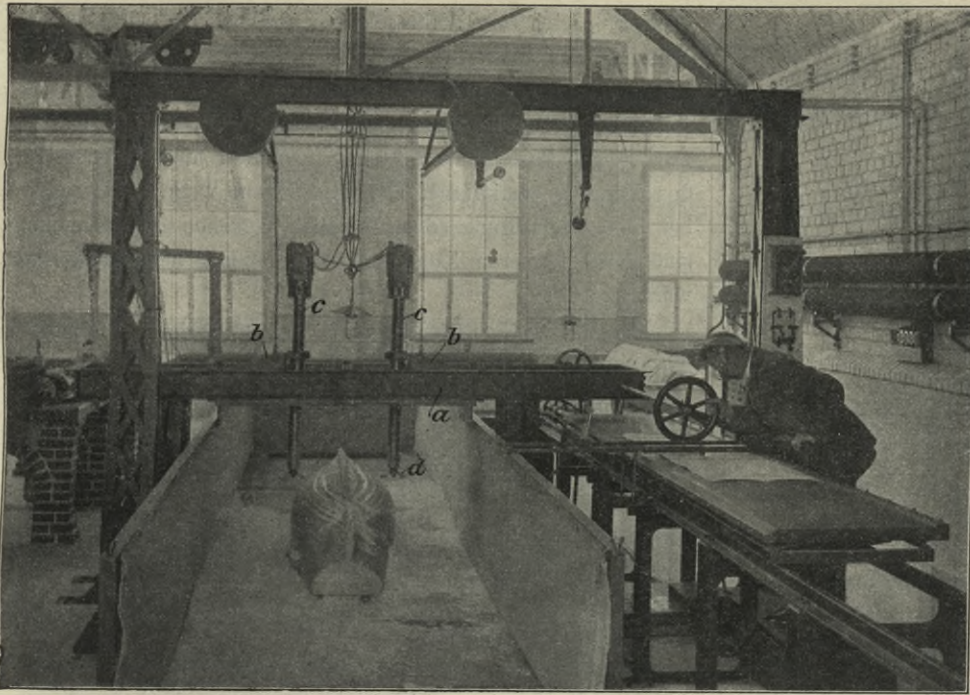


Abb. 6. Modellschneidemaschine.

Querträgern gelagert, der gleichfalls in seiner Längsachse verschiebbar auf einem Paar Winkelschienen rollt. Wagen und Zeichentisch werden durch einen 2 PS-Motor gleichzeitig bewegt. Der Motor arbeitet auf ein auswechselbares Vorgelege, durch das zwei wagerecht neben dem Wagen und unter dem Zeichentisch gelagerte Schraubenspindeln gedreht werden. Mit diesen Spindeln können Wagen und Zeichentisch durch ausrückbare Mitnehmermutter verbunden werden.

Für Modelle über 2 m Länge wird der Längenmaßstab des Fräsplanes im Verhältnis 1:2, 1:3 oder 1:4 verkürzt, um die Anfertigung langer Linienrisse, die sonst bis 7 m lang werden müßten, zu vermeiden. Dementsprechend wird auch durch Umänderung des Vorgeleges am Antriebsmotor die Umdrehungsgeschwindigkeit der beiden Leitspindeln im Verhältnis 2:1, 3:1, 4:1 geändert. Die beiden Leitspindeln, von denen die längere, zum Wagenantrieb bestimmte, eine freitragende Länge von 7,7 m hat, werden durch Pendellager gestützt.

Vor Beginn der Arbeit werden Wagen und Zeichentisch in Mittelstellung gebracht. Eine Vorrichtung am Zeichentisch gestattet seine genaue Einstellung auf Wagenmitte. Sodann werden die Spindeln mit den Fräsmessern der Höhe nach auf die jeweilig zu schneidende Wasserlinie eingestellt. Die wagerechte Verschiebung der Spindeln wird vom Arbeiter am Zeichentisch aus mit Hilfe eines Handrades und eines Kegelradvorgeleges bewirkt. Die jeweilige Stellung der Messer wird durch einen Storchschnabel, dessen einer Arm

mit einem der Schlitten, in denen die Spindeln mit den Fräsern ruhen, verbunden ist, auf den auf dem Zeichentisch aufgespannten Wasserlinienplan übertragen. Fest mit dem Unterbau des Tisches verbunden ist über seiner Mitte ein Rahmen angeordnet, auf dem ein senkrecht zur Grundlinie des Tisches beweglicher Fahrstab geführt wird. Gegen das obere Ende dieses Stabes legt sich der Storchschnabel mit seinem freien Arm, während am unteren Ende des Stabes eine Führungskurve aus Zelluloid (Abb. 1 Bl. 13) befestigt ist. Ist das Verhältnis zwischen Modell- und Fräsplanlänge 1:1, so ist diese Kurve ein Kreis vom Durchmesser des Fräsmesserkreises. An die Stelle des Kreises tritt eine Ellipse, wenn die Längenverhältnisse zwischen Modell und Fräsplan im Verhältnis 1:2, 1:3 oder 1:4 stehen. Die große

Achse dieser Ellipse bleibt stets gleich dem Durchmesser des Fräsmesserkreises, während die kleine Achse im oben angegebenen Verhältnis zur großen Achse stehen muß.

Der Wagen mit dem Modell wird durch die vom Motor gedrehte Spindel unter den mit 1800 Umdrehungen in der Minute umlaufenden Fräsmessern entlang geführt, die vom Arbeiter am Zeichentisch so verstellt werden, daß die Führungskurve dauernd die zu schneidende Wasserlinie berührt. Dieser an der Wasserlinie entlang gleitenden Führungskurve entspricht der am Modell entlang rollende Messerkreis. So wird Wasserlinie auf Wasserlinie unter Veränderung der Höhenstellung der Fräsmesser auf das Modell übertragen.



Abb. 7. Modellschneidemaschine.

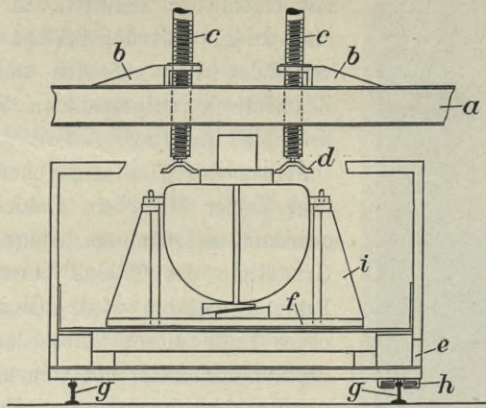


Abb. 8. Lagerung eines oben geschlossenen Modells auf der Modellschneidemaschine.

Bemerkt möge noch werden, daß die Wasserlinien stets von der Mitte des Modells aus nach den Enden zu geschnitten werden müssen, um den in der Übertragungsvorrichtung vom Handrad zum Schlitten vorhandenen toten Gang bei der Umkehrung der Drehungsrichtung des Handrades auszuschalten, wenn man das Modell vom Steven zu Steven und nicht von Mitte zum Steven hin schneiden würde.

Ein oben geschlossenes Paraffinmodell kann nicht unmittelbar auf der Modellschneidemaschine gelagert werden, da ihm die breite Grundfläche fehlt, welche die oben offenen mit dem Kiel nach oben gelagerten Modelle haben. Es erhält daher beim Gießen vier bis sechs seitliche kräftige Angüsse aus Paraffin, mit denen es auf den an zwei bis drei Böcken *i* (Text-Abb. 8) angebrachten Zapfen gelagert wird. Diese Böcke haben in ihrer unten liegenden Querverbindung ein Loch, das über die Zapfen auf den Querträgern des Wagens paßt. Diese Modelle müssen während des Frärens einmal um 180° gedreht werden, da es Form und Abmessung der Fräser nicht möglich machen, sämtliche Wasserlinien in einer Stellung des Modells auf dasselbe zu übertragen. Daher werden zunächst die Wasserlinien vom Kiel bis zur Konstruktionswasserlinie und sodann nach der Drehung des Modells vom Deck bis zur gleichen Linie geschnitten. Da bei diesem Vorgehen die Konstruktionswasserlinie zweimal gefräst wird, bietet dieses Verfahren die erforderliche Sicherheit dafür, daß das Modell beim Umdrehen nicht seitlich verschoben worden ist.

Das von der Fräsmaschine fertig bearbeitete Modell hat auf seiner Oberfläche treppenförmige Absätze (Text-Abb. 9, 10 u. 11). Mit Schrubbeisen und Schlichthobel werden sodann die dreieckigen Vorsprünge beseitigt, so daß nur noch die von der Spitze der Fräsmesser eingerissenen Wasserlinien sichtbar bleiben. Zum Schluß wird das Modell mit Ziehklängen abgezogen, so daß es eine glatte Oberfläche erhält. Das Modell ist nun schleppfertig. Bevor es zu Wasser gebracht wird, wird sein Eigengewicht auf einer Zentesimalwaage bestimmt und seine benetzte Oberfläche bis zur Konstruktionswasserlinie mit Hilfe breiter Papierstreifen abgewickelt und rechnerisch bestimmt. Bisher wurden Modelle in der Anstalt hergestellt mit einem Paraffingewicht bis zu 400 kg.

B. Einrichtungen für Versuche mit Schiffmodellen.

Ballasten und Trimmen des Modells. Soll das Modell zur Bestimmung seines Widerstandes geschleppt werden, so wird es in den Trimm-tank gesetzt und erhält ein Zusatz-

gewicht gleich dem Unterschied zwischen dem Gewicht des Wassers, das es verdrängen soll, und seinem Eigengewicht. Dieser aus Schrotsäcken, Bleistücken und Eisenstücken bestehende Ballast beträgt in einzelnen Fällen bis zu 500 kg. Das so geballastete und getrimmte Modell muß auf dem für den Versuch bestimmten Tiefgang liegen, wenn anders nicht bei der Bearbeitung des Modells Versehen vorgekommen sind. Im letzteren Falle muß das Modell neu angefertigt werden.

Tiefgangskontrolle. Da es ausgeschlossen ist, den Tiefgang des Modells in dem schmalen 1,2 m breiten Trimm-tank mit der erforderlichen Genauigkeit von der Seite aus abzulesen, wird die Tiefgangskontrolle in folgender Weise durchgeführt. An jedem oben offenen Modell werden beim Gießen vier Augen aus Paraffin vorgesehen, die paarweis vorn und hinten angeordnet sind. Die untere Fläche dieser Augen wird auf der Modellschneidemaschine beim Schneiden der Wasserlinie mit bearbeitet, so daß sie bei allen vier Augen in einer Ebene liegt. Die Augen erhalten eine senkrechte Durchbohrung, durch die man, wie Text-Abb. 12 zeigt, den oberen mit Gewinde versehenen Teil des Nadelhalters hindurchsteckt. Der Nadelhalter trägt unten eine mit feinem Gewinde versehene Nadel, die so mit Hilfe eines besonderen Maßstabes eingestellt wird, daß ihre etwas abgerundete Spitze um das Maß a — d. h. um die Entfernung der obersten, in Höhe der Unterkante der Augen liegenden Wasserlinie von der Konstruktionswasserlinie oder einer anderen, dem betreffenden Tiefgang entsprechenden Schwimmlinie — von der Oberkante des Hülsenbundes des Nadelhalters, also von Unterkante Auge absteht. Sind die vier Nadeln am Modell angebracht, so müssen ihre Spitzen, wenn das Modell richtig geballastet und getrimmt ist und keinen Bearbeitungsfehler aufweist, die Wasseroberfläche eben durchbrechen, d. h. es muß sich über ihnen eine kleine Erhöhung des Wasserspiegels bilden.

Das schleppfertige Modell trägt oben, auf den beiden Querleisten ruhend (vgl. Abb. 5 Bl. 12 und Text-Abb. 12), den sogenannten Schleppbügel, einen aus leichtem Holz gebauten Rahmen, der vorn und hinten je ein Paar auf einer Messingplatte befestigte und wagerecht angeordnete Glaswalzen und in der Mitte eine nach unten in das Modell hineinragende Hülse trägt, in der ein Auge mittels einer mit feinem

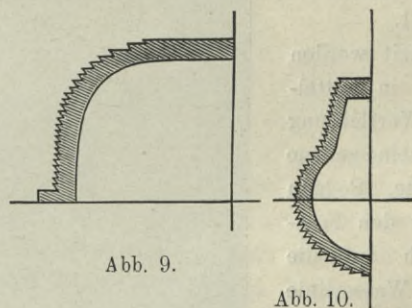


Abb. 9.

Abb. 10.

Gewinde versehenen Spindel senkrecht auf und nieder verschoben werden kann. Die Glaswalzenpaare und die Hülse mit dem Auge für die vom Dynamometer kommende Zugstange können in der Längsrichtung des Bügels verstellt werden.

Da die Nadeln für das Trimmen und der Bügel für das Schleppen notwendig sind, muß das Gewicht dieser Teile bei der Berechnung des Ballastes für das Modell vom Zusatzgewicht in Absatz gebracht werden. Es muß demnach sein: Gewicht des Modells, des Schleppbügels, der vier Nadeln und des Ballastes gleich der rechnerisch ermittelten Wasser-

verdrängung des Modells. Für den Schleppversuch wird das Modell sodann aus dem Trimm-tank hinaus unter den Versuchswagen gefahren.

Der Schleppwagen (vgl. Abb. 3 Bl. 13 und Abb. 1 bis 3 Bl. 5) ist zweiteilig ausgeführt. Da es nicht ausgeschlossen erschien, daß durch die umlaufenden Massen der Antriebmotore und der Vorgelege Schwingungen auf dem Wagen entstehen können, wurden die Meßgeräte,

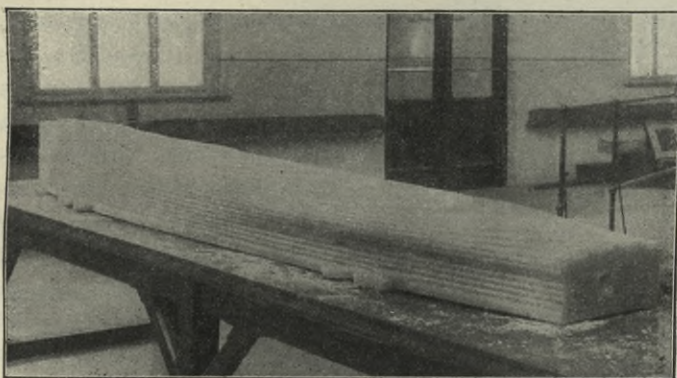


Abb. 11. Modell nach dem Fräsen.

nämlich das Modell- und Schraubendynamometer, auf einem besonderen Wagen, dem Gerätewagen, aufgestellt, während die Antriebsvorrichtung nebst allem Zubehör auf dem Treibwagen, der den Gerätewagen umfaßt, aufgestellt wurden. Bei dem geringen Abstand zwischen Oberkante Schienen und dem Wasserspiegel wurde die Forderung, ein starres Gebilde herzustellen, bei der Ausführung durch die Annahme eines Fachwerkes für die Wagen zu erfüllen gesucht.

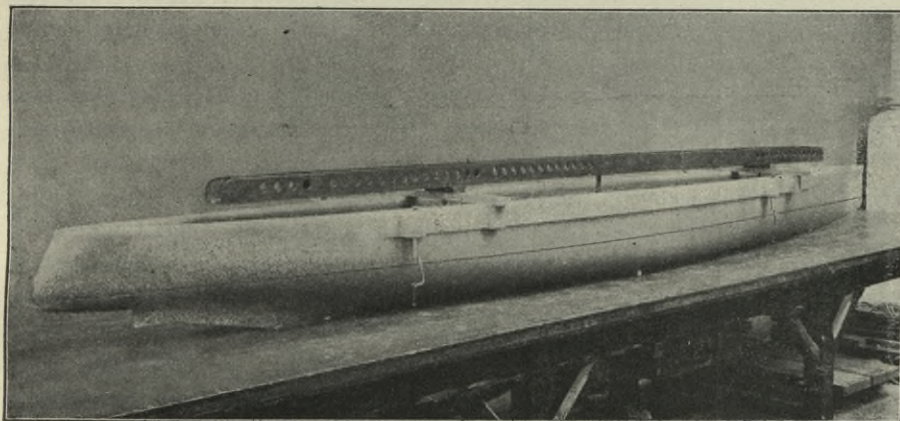


Abb. 12. Paraffinmodell mit Nadelvorrichtung zur Einstellung auf die Wasserlinie.

Der auf vier Rädern von 700 mm Durchmesser laufende Treibwagen hat eine Gesamtlänge von 14,3 m und eine Länge von 12 m — gleich der doppelten Spurweite — zwischen den Achsen des vorderen und hinteren Radpaares erhalten. Diese große Länge wurde für erforderlich gehalten, um beim Fahren mit hoher Geschwindigkeit ein Gieren des Wagens möglichst zu vermeiden. Die vordere und hintere Plattform des Treibwagens sind aus 580 mm hohen Gitterträgern mit darüber längs gelegten **C**-Eisen gebaut und mit einem Plankenbelag versehen. Auf beiden Plattformen steht ein je 10 PS Nebenschlußmotor mit einem doppelten Vorgelege. Die Räder des Treibwagens sitzen fest auf einer durchgehenden Achse,

in deren Mitte ein Zahnrad von 84 Zähnen gleichfalls fest aufgezogen ist. Die Motoren wirken entweder unmittelbar mittels eines Ritzels von 14 Zähnen oder bei geringeren Geschwindigkeiten nach Einschaltung eines Vorgeleges auf das große auf den Wagenachsen befestigte Stirnrad.

Anfangs waren die Ritzel aus Rohhaut angefertigt, sie mußten jedoch später, da sie dauernd — wohl infolge des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft — zu Ausstellungen Anlaß gaben, durch solche aus Gußeisen ersetzt werden.

Auf der hinteren Plattform ist links der Stromabnehmermast und rechts der Anlasser nebst Widerständen und Ausschaltern angeordnet. Am hinteren Vorgelege sind ferner zwei Bremsscheiben vorgesehen, um den in Fahrt befindlichen Wagen auch von Hand abbremsen zu können, wenn die sonst vorgesehenen und später noch zu besprechenden Bremsvorrichtungen versagen sollten. Beide Plattformen sind durch zwei 30 cm breite Parabelträger von 1,75 m Pfeilhöhe verbunden, die als Gitterträger ausgebildet und in 2,46 m Abstand voneinander angeordnet sind. An der Unterkante der Gitterträger sind an ihrer Innenseite zwei 40 cm breite Laufstege angebracht, welche die Bedienung der Geräte und den Verkehr von vorn nach hinten ermöglichen. Eine schmale Laufplanke liegt ferner zu gleichem Zweck auf den Querträgern des Gerätewagens.

Der 8,36 m lange Gerätewagen, der wie schon erwähnt, in den Treibwagen eingebaut ist, läuft auf vier Rädern von 1 m Durchmesser. Mußte man bei der Wahl der Radabmessungen des Treibwagens Rücksicht nehmen auf die Umdrehungszahl der Antriebmotore und die verlangte größte Geschwindigkeit von 7 m i. d. Sek., so war für die Wahl des Durchmessers der Räder des Gerätewagens ledig-

lich die Forderung eines möglichst ruhigen Ganges des Wagens maßgebend. Der Hauptnachdruck war auf eine möglichst starre Konstruktion des Gerätewagens zu legen, die dadurch erschwert wurde, daß dieser Wagen in der Mitte auf seiner ganzen Länge einen 1,2 m breiten, von jeder Quer- verbindung freien Schlitz erhalten mußte, um die Meßgeräte beliebig auf dem Wagen verschieben zu können und um nach Beendigung der Schleppfahrten mit hoher Geschwindigkeit das infolge der starken Wellenbewegung heftig auf und nieder stampfende Paraffinmodell nicht zu gefährden. Der Gerätewagen ist, wie Abb. 1 bis 3 Bl. 5 aus-

weist, gleichfalls aus Gitterträgern zusammengesetzt. Zu beiden Seiten der freien mittleren Öffnung sind auf den hier angeordneten Längsträgern des Gerätewagens gehobelte **L**-Schienen befestigt, auf denen die Geräte in der Längsrichtung des Wagens verschoben werden können. Die Oberkante dieses Gleises liegt 500 mm über dem Wasserspiegel.

Auch bei der größten erreichbaren Geschwindigkeit von 7 m hat der Wagen seine volle Fahrt bereits 15 bis 20 m vor dem Lichtschacht aufgenommen, die Anlaufstrecke beträgt daher im ungünstigsten Falle 40 bis 45 m und die geringste Meßstrecke rund 50 m, da eine Auslaufstrecke von 35 bis 40 m vollkommen genügt, um den Wagen ohne

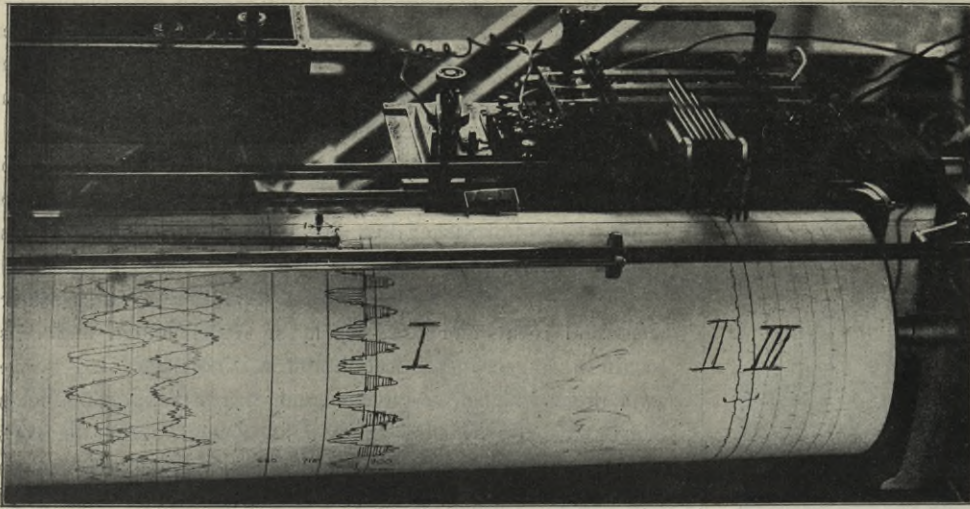


Abb. 13. Schreibtrommel mit Widerstands- (I), Weg- (III) und Zeitlinien (II).

Gefährdung der auf ihm aufgestellten feinen Meßwerkzeuge zum Stehen zu bringen. Um die gesamte Zugkraft der beiden Antriebmotoren beim Anfahren zur Erzielung einer möglichst hohen Beschleunigung auszunützen, wurde der Antrieb auf die beiden Wagenachsen verlegt, weil durch die Teilung des Wagens der Treibwagen und damit das zur Verfügung stehende Gewicht so vermindert wurde, daß bei einem Antrieb von nur einer Achse aus nicht mehr die für die kurze Beschleunigungsstrecke erforderliche große Reibung vorhanden gewesen wäre.

Die Verbindung zwischen Geräte- und Treibwagen wird durch vier vorn und hinten paarweis eingeschorene Stahldrahttaue bewirkt. Diese Taue traten nach Abschluß der Vorversuche an die Stelle der ursprünglich vorgesehenen Gelenkverbindungen, die sich nicht bewährt hatten, da sie die Schwingungen des Treibwagens auf den Gerätewagen übertrugen.

Auf dem Gerätewagen werden die Versuche zur Bestimmung der Schiffs- und Schraubenwiderstände durchgeführt. Dem ersteren Zweck dient das Modelldynamometer, während das Schraubendynamometer für die Prüfung von Modellschrauben Verwendung findet.

Das Modelldynamometer (Abb. 5 bis 8 Bl. 12 und Text-Abb. 15 u. 16), das im Anhalt an die von Froude gewählte Ausführung entworfen wurde, ist ein Feder-

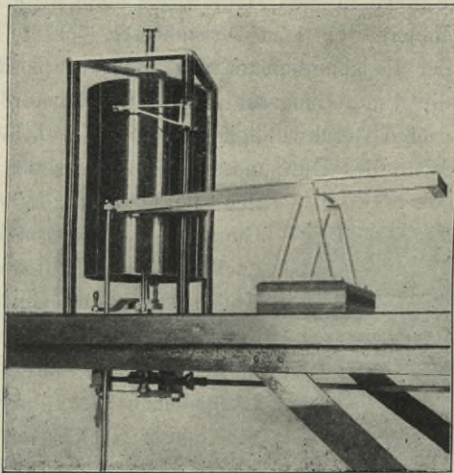


Abb. 14. Senkrechte Schreibtrommel zum Aufzeichnen der Trimm- und Tauchungsänderung des Modells.

Schleppbügel *A* befindet. Oben ist der Dreieckshebel federnd bei *h* mit dem unteren Arm eines zweiten Hebels *e* verbunden, dessen Hebelarme im Verhältnis 1:10 stehen. Der obere Arm dieses zweiten Hebels zeigt die Bewegungen des Dreieckshebels während der Versuchsfahrt infolge der Übersetzung in ihrer Längenausdehnung zehnfach vergrößert an. Beide Hebel sind in bezug auf ihren Drehpunkt durch Gegengewichte ausbalanciert. Dem am unteren Arm des Dreieckshebels beim Schleppversuch durch den Widerstand, den das Modell seiner Fortbewegung im Wasser entgegengesetzt, hervorgerufenen und nach hinten gerichteten Zug hält eine am oberen Arm eingehakte und mit ihrem andern Ende bei *i* fest eingespannte Spiralfeder *k* das Gleichgewicht.

Die Auslenkungen des Dreieckshebels während des Versuchs, d. h. die Schwankungen der Federspannung werden durch einen Schreibarm *l*, der in einer Gabel am oberen Ende des ungleicharmigen Hebels *e* gelagert ist, auf eine von der Achse des Gerätewagens aus in Umdrehung versetzte Schreibtrommel *m* aufgezeichnet, auf die ein Blatt Papier gespannt ist (Text-Abb. 13). Gleichzeitig werden auf der rechten Seite der Trommel nach einem Uhrwerk mit elektrischem Antrieb die Zeit in halben Sekunden und der vom Wagen zurückgelegte Weg nach den auf der Versuchsstrecke neben den Schienen in Abständen von 5 m angebrachten Bügeln aufgezeichnet.

Alle Messungen finden nur bei Fahrten in einer Richtung statt. Nach Rückkehr des Wagens zum Ausgangspunkt

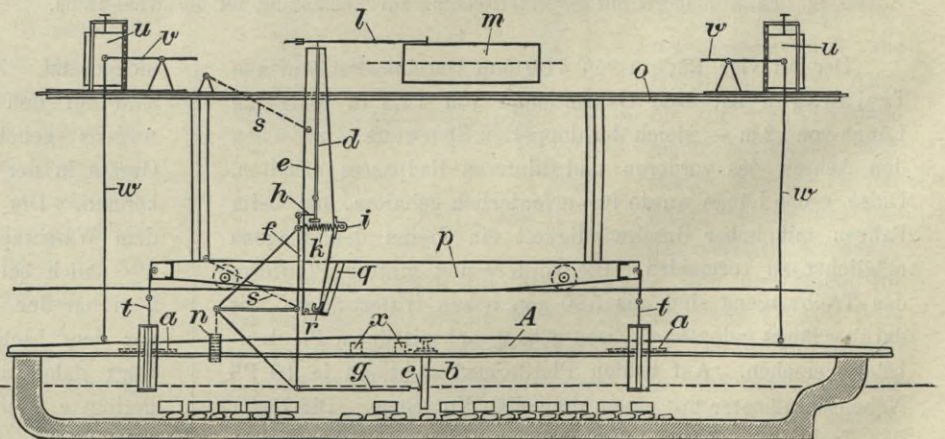


Abb. 15. Modelldynamometer.

dynamometer. In einem aus zwei gebögelten Blechen gebildeten Rahmen *d*, dessen Wände durch Stehbolzen miteinander verbunden und gegeneinander abgesteift sind, ist ein aus zwei Hebeln *e* und *f* bestehendes System auf doppelten Schneiden gelagert. Der untere, in Dreieckform aus gebögelten Blechen gebaute Hebel *f* besitzt drei gleichlange Arme, in deren Endpunkten Schneiden vorgesehen sind. Auf der Schneide des unteren Armes dieses Hebels ruht das eine Ende der Verbindungsstange *g* zwischen Modell und Dynamometer, während das andere Ende dieser Stange in das Auge *e* gehakt wird, das sich an der Hülse *b* am

wird, nach dem sich die Wasseroberfläche, soweit erforderlich, wieder beruhigt hat — was 10 bis 20 Minuten, je nach der Geschwindigkeit mit der das Modell geschleppt wird, dauert —, die nächst höhere Geschwindigkeit eingestellt und die Schreibvorrichtung für die Zeit und Wegangabe um ein Stück nach links geschoben. Bei der nächsten Fahrt wird der Dreieckshebel, da im allgemeinen mit der Zunahme der Geschwindigkeit auch die Größe des Widerstandes wächst, weiter ausgelegt. Die Linie der diesem Widerstande entsprechenden Federspannung wird daher weiter nach der Mitte der Trommel hin aufgezeichnet werden. Obwohl sich demnach die verschiedenen Federspannungslinien im allgemeinen nicht decken, werden doch der besseren Übersicht halber für die verschiedenen Fahrten Schreibfedern mit verschiedenen Farben gebraucht.

Die Modellgeschwindigkeiten werden so lange gesteigert, bis die Meßfeder bis zur zulässigen Grenze beansprucht ist, was meist nach vier bis sechs Fahrten eintritt. Bevor die Feder sodann durch eine stärkere ersetzt wird, wird sie in der Weise geeicht, daß nach Abkupplung des Modells vom Dynamometer an den dritten freien, wagrecht stehenden

Arm des Dreieckshebels f nacheinander verschiedene geeichte Gewichte n gehängt werden. Wie vorher durch den Modellwiderstand, so wird jetzt die Feder durch Gewichte gedehnt. Die jeweilige Federstellung, die einer bekannten Belastung entspricht, wird sodann auf dem Papierbogen durch Drehung der Trommel aufgezeichnet, wo sie sich als gerade Linie darstellt (Text-Abb. 13). Erst mit Hilfe dieses Netzes paralleler Gewichtslinien läßt sich Deutung und Auswertung der bei den verschiedenen Versuchen vorher aufgezeichneten Federspannungslinien ermöglichen, auf die später noch näher eingegangen werden soll.

Schreibtrommel, Uhr und Registrierwerk sind auf einer hölzernen, dreifach verleimten Tischplatte o aufgestellt, die

wieder auf einem Winkelrahmen, der auf zwei senkrechten Querrahmen aufliegt, befestigt ist. Tisch und Unterbau ruhen auf einem fahrbaren, aus gebörtelten Stahlblechen gebauten Rahmen p . Auf einem starken Querträger q im unteren Rahmen sind die Widerlager r für den mittels einer Parallelogrammführung s in senkrechter

Richtung beweglichen Rahmen d mit dem Hebelssystem angeordnet. Da das Hebelssystem mit seinem unteren Arm beim Versuch möglichst tief in das Modell hineinreichen soll, muß es vor dem Unterfahren des Modells unter den Apparat gehoben werden können. Am vorderen und hinteren Querträger des Untergestells des Modelldynamometers ist in der Mitte je eine Glasrolle t angebracht, die um eine senkrecht zur Mittellinie des Wagens stehende wagerechte Achse gedreht werden kann. Nach dem Einfahren des Modells werden diese Glasrollen heruntergeklappt, sie hängen dann zwischen den auf dem Schleppbügel wagerecht angeordneten Glasrollen a und sollen während der Versuchsfahrt das Modell in der Längsachse des Wagens führen und eine Querstellung desselben zur Fahrtrichtung verhindern. Das Modell ist daher nur an einem Punkt durch die zum Dynamometer

führende Verbindungsstange festgehalten und durch die Glasrollen in der Mittelachse des Wagens geführt. Es kann sich demnach während der Versuchsfahrt frei auf und nieder bewegen und sich unter Einwirkung des Wasserwiderstandes beliebig zur Wasseroberfläche einstellen.

Auf dem Tisch sind ferner vorn und hinten verschiebbar zwei senkrechte Schreibtrommeln u (vgl. Text-Abb. 14 u. 15) mit je einem davor liegenden wagerecht gelagerten Hebel v angeordnet; von dem einen Ende des Hebels reicht eine leichte Stange w aus Aluminiumrohr zum Modell hinunter, wo sie in der Mittellinie des Schleppbügels befestigt ist. Am anderen Arm des Hebels befindet sich ein

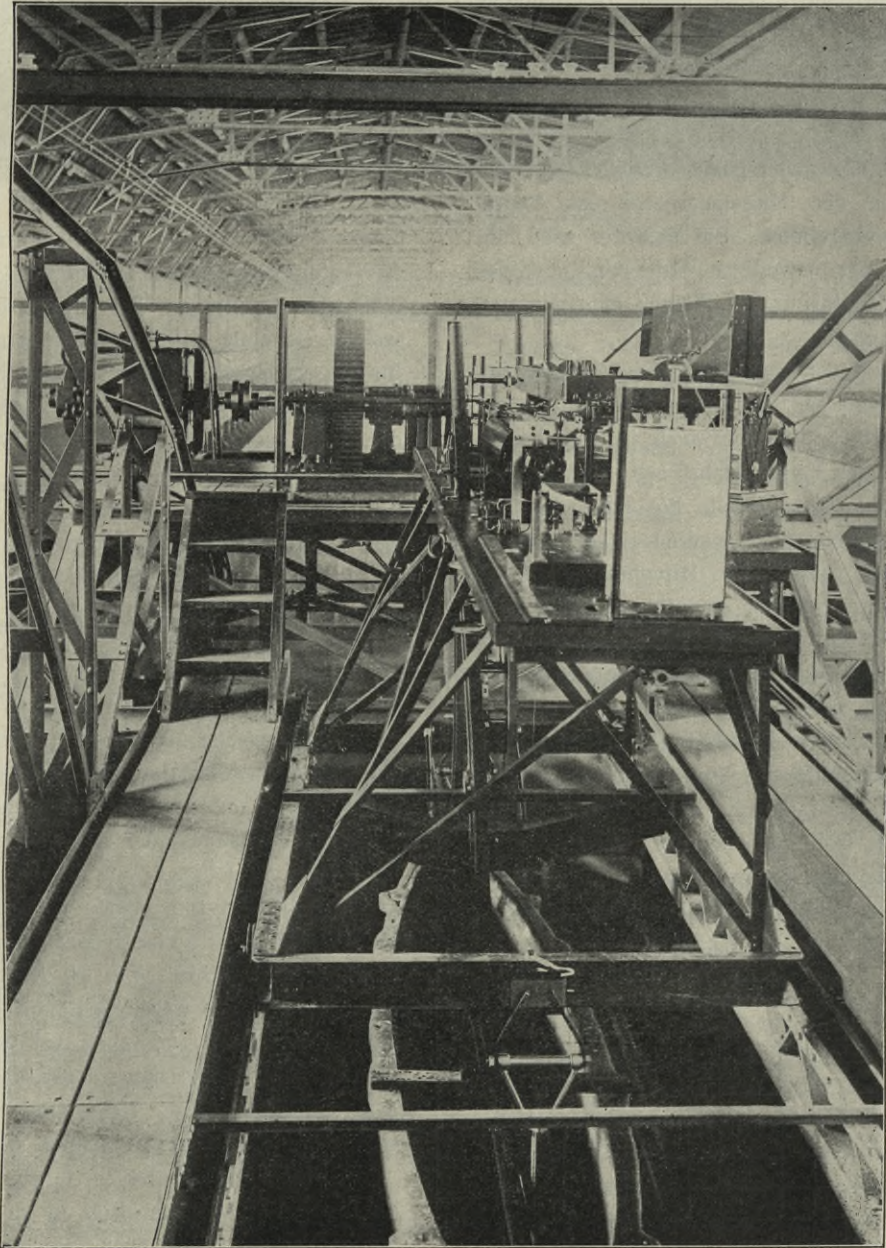


Abb. 16. Modelldynamometer mit darunter befindlichem Modell.

Gegengewicht, das zum Gewichtsausgleich des Systems dient. Beide Schreibtrommeln werden nach Einschaltung eines Kegelradvorgeleges von derselben Welle aus gedreht, welche die Drehung der wagerechten Trommel besorgt. Diese Einrichtung dient zur Aufzeichnung der Tiefertauchung und der Trimmänderung des Modells während der Fahrt.

Beim Anfahren des Wagens wird auf das Modell vermittels zweier Mitnehmerhebel, die in festen Drehpunkten auf dem Rahmen p ruhen und deren untere Arme sich gegen zwei Querriegel x im Schlepprahmen legen, die Beschleunigung des Wagens übertragen, um nicht die Meßfeder in unnötige Schwingungen zu versetzen. Hat der Wagen die beabsichtigte gleichförmige Geschwindigkeit erreicht, so wird durch vorsichtiges Lösen der Mitnehmerhebel das Modell langsam in die Meßfeder eingeführt. Die Meßfeder wird nun so weit gespannt, bis sie dem jeweiligen Widerstand, den das Modell der Fortbewegung durch das Wasser entgegensetzt, das Gleichgewicht hält.

Der Modellwiderstand ist auch bei gleichmäßiger Geschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen veränderlich; ferner ändert sich wahrscheinlich infolge der auch in vollkommen glatten Wasser während der Versuchsfahrt stets eintretenden leichten Stampfbewegungen des Modells die Lage des Angriffspunktes des Wasserwiderstandes; endlich ist es praktisch nicht durchführbar, beim Lösen der Mitnehmerhebel das Modell so langsam in die Meßfeder einzuführen, daß diese nicht in Schwingungen gerät. Diese Umstände erklären die Erscheinung, daß die bei den Meßfahrten aufgezeichnete Federspannung nicht eine gerade Linie sondern angenähert eine Sinuslinie ist, bei deren Betrachtung berücksichtigt werden muß, daß die tatsächlichen Schwankungen der Federspannung infolge des Übersetzungsverhältnisses des oberen Hebels nur den zehnten Teil der auf der Schreibtrommel aufgezeichneten Ausschläge des Schreibstiftes betragen.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse nach Aufzeichnung des Eichnetzes geschieht in ähnlicher Weise wie bei der Berechnung der Indikatordiagramme. Mit Hilfe eines Plani-

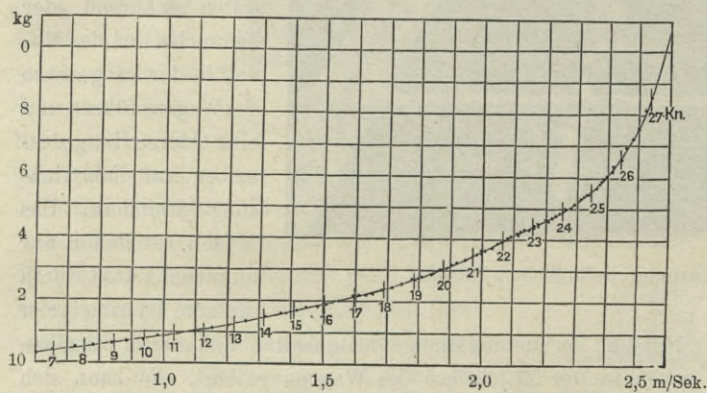


Abb. 17. Widerstandslinie für Modell Nr. 80 ($\alpha = 30$).

meters wird für einen Teil der Kurve der mittlere Druck bestimmt, dessen Größe man sodann mit Hilfe des Eichnetzes mit dem Maßstab auswerten kann. Aus dem zu obigen Kurventeil gehörenden Abschnitt der Weg- und Zeitaufzeichnung wird die Geschwindigkeit des Wagens während des Versuchs ermittelt.

Die einzelnen Versuchsergebnisse werden sodann auf einem Papierbogen mit Millimeterteilung — die Geschwindig-

keiten als Abszissen, die Widerstände als Ordinaten — aufgezeichnet (Text-Abb. 17). Aus der durch Verbindung der einzelnen Punkte erhaltenen Widerstandslinie kann sodann nach dem Froudeschen Verfahren, auf das an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll, die für jede beliebige Geschwindigkeit des Schiffes erforderliche effektive Maschinenleistung (PSe) errechnet werden.

Benutzung der Widerstandslinien. Aus dem Vergleich der Ergebnisse des Modellversuchs mit den Probefahrtsergebnissen bereits fertiggestellter Schiffe an der abgesteckten Meile, bei denen die Geschwindigkeit des Schiffes und die indizierte Maschinenleistung (PSi) gemessen wurde, ist es möglich, das Verhältnis: $\frac{P_{Se}}{P_{Si}}$ zu bestimmen. Mit Hilfe

dieser Verhältniszahl, die bei Schiffen ähnlichen Typs für die entsprechende Geschwindigkeit annähernd konstant ist, läßt sich sodann an der Hand der PSe-Kurve angeben, welche Leistung die Maschinen für das untersuchte Schiff für die verlangte Geschwindigkeit haben müssen. Erwähnt werden muß noch, daß die Modellgeschwindigkeit nicht gleich der Schiffsgeschwindigkeit ist, sie hängt vielmehr ab von dem Verhältnis der Größe des Schiffes und des Modells. Soll z. B. ein Schiff von 150 m Länge 30 Knoten laufen, und erhält das Modell eine Länge von 6 m, so entspricht der obengenannten Schiffsgeschwindigkeit eine Modellgeschwindigkeit von $\frac{30}{\sqrt{\frac{150}{6}}} = 6$ Knoten oder von $6 \cdot 0,5144 = 3,0864$ m

in der Sekunde. Je kleiner das Verhältnis der Größenabmessung zwischen Modell und Schiff ist, desto größer wird die der Schiffsgeschwindigkeit entsprechende Modellgeschwindigkeit. Bei den heutzutage üblichen Abmessungen unserer Torpedobootzerstörer, der schnellsten größeren Schiffe, würde bei einer Modelllänge von etwas über 4 m eine Modellgeschwindigkeit von etwas über 5 m genügen, um die Maschinenleistung zu bestimmen, die für die Erreichung einer Schiffsgeschwindigkeit von 40 Knoten erforderlich ist. Die erreichbare größte Geschwindigkeit des Wagens von 7 m ist daher ausreichend, um auch bei bedeutend kleineren Fahrzeugen, z. B. Motorbooten, deren Modelllänge man zu ungefähr 3 m annehmen kann, Messungen der Widerstände für Geschwindigkeiten über 40 Knoten hinaus durchzuführen.

Schleppversuche mit oben geschlossenen Modellen. Für die mehrfach in der Anstalt durchgeführten Schleppversuche mit oben geschlossenen Modellen mußten am Modelldynamometer einige nicht unwesentliche Änderungen getroffen werden, da einmal auf dem Modell, das oft auf Deck hohe Aufbauten hat, nicht der für die Verbindung mit dem Dynamometer und für die Führung des Schiffes erforderliche Schleppbügel angebracht werden konnte, der zudem auch bei Unterwasserfahrten den Widerstand des Modells vermehren würde, und da ferner der untere Arm des Dreieckhebels nicht wie erforderlich beliebig verlängert und in das Modell eingeführt werden kann. Hinzu kommt, daß ein vollkommen untergetauchtes Modell keinen Auftrieb besitzt und deshalb in der Schwebelage gehalten werden muß. Alle diese Forderungen wurden durch die Einrichtung Text-Abb. 18 erfüllt. Nach Abnahme der vorderen und hinteren Führungsrollen werden am vorderen und hinteren

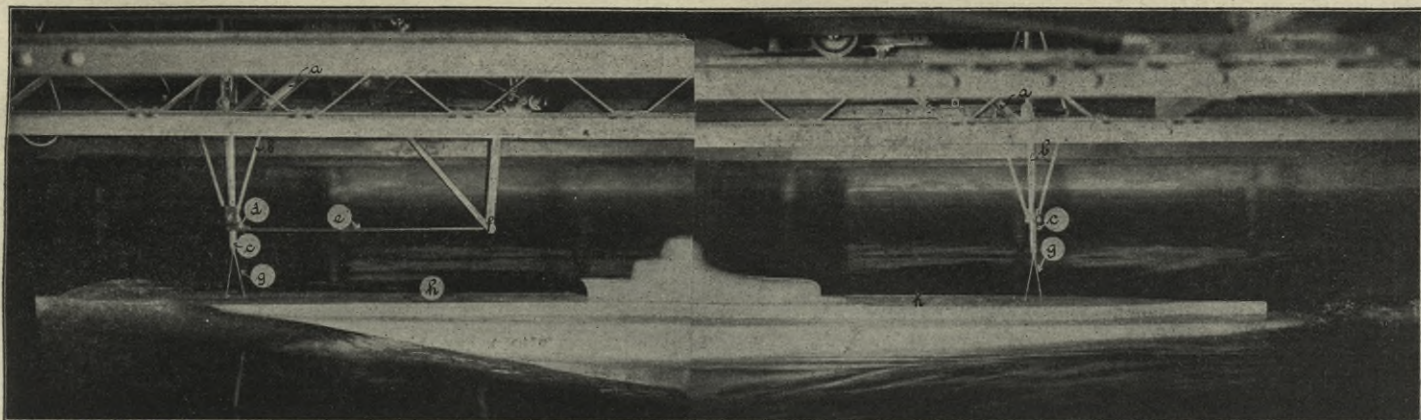


Abb. 18. Schleppevorrichtung für Unterwasserversuche.

Querträger je zwei Arme *a* angeschraubt, deren Enden Lager mit gehärteten Schalen tragen. In jedes Lager wird eine auf Schneiden gelagerte viereckige Laterne *b*, die aus vierkantigen hohlen Messingstäben zusammengebaut ist, eingelegt. Der obere und untere Bund der Laterne ist durchbohrt zum Einstecken einer Stange von elliptischem Querschnitt *c*. Anfangs wurden für diesen Zweck hohle Stangen genommen, wie sie in der Fahrradindustrie Verwendung finden; diese mußten jedoch später durch gezogene, volle Stahlstangen ersetzt werden, da sich die hohlen Stangen infolge der außerordentlich starken Beanspruchung beim Schleppen erheblich durchbogen. An der Unterkante der vorderen Laterne ist ein Auge *d* angebracht, von dem aus eine Stange *e* nach der unteren Schneide *f* des Modelldynamometers geht. Diese Stange liegt wagerecht. Am unteren Ende der beiden senkrechten Stangen befindet sich eine Gabel. In der Decke des Modells werden im Abstand der Stangen voneinander zwei Bügel *g* aus starkem Messingdraht befestigt und mit Paraffin umgossen, diese Bügel tragen an ihrem oberen Ende ein Auge, das in die Gabel der Stangen geschoben und dort durch einen Stift festgehalten wird. Das Modell ist für den Versuch so zu ballasten, daß es unter Zurechnung des Gewichtes der beiden senkrechten Stangen auf dem gewünschten Tiefgang schwimmt. Der Ballast — Bleistücke und Schrotsäcke — wird durch zwei in der Decke angeordnete metallene Handlöcher *h* eingebracht. Diese Löcher werden sodann durch Deckel mit Gummidichtung wasserdicht verschlossen. Da sich die Führungsstangen an Rollen, die im oberen und unteren Bund der Laterne angebracht sind, entlang frei auf und nieder bewegen können, kann sich auch das Modell bei Überwasserfahrten frei einstellen. Für Unterwasserfahrten, bei denen das Modell keinen Auftrieb mehr besitzt, wird am oberen Ende der Stange eine Schelle befestigt, mit der die Stange, die vorher auf die erforderliche Länge für die Unterwasserfahrt eingestellt wurde, auf den oberen Bund der Laterne aufliegt. Im allgemeinen werden untergetauchte Modelle so geballastet, daß sie nur ein 2 bis 3 kg größeres Gewicht haben, als ihre Wasserverdrängung beträgt. Beim Schleppen des Modells wird der Widerstand, den es hervorruft, durch die wagerechte Verbindungsstange *b* von der vorderen Führungsstange zum Dynamometer auf das letztere übertragen und auf der Schreibtrommel in der bekannten Weise aufgezeichnet. Bei Unterwasserfahrten ragen die senkrechten Stangen in das Wasser und vermehren in Fahrt den

Widerstand des Modells. Durch eine Reihe von Fahrten mit eingelegten Stangen, jedoch unter Fortlassung des Modells, wird der Leergangswiderstand des Apparates bestimmt. Der Unterschied zwischen dem ursprünglich gemessenen Widerstand und dem Leergangswiderstand gibt den Modellwiderstand. Die Federspannungen sind zur Bestimmung des wirklichen Modellwiderstandes noch im Verhältnis der beiden Hebelarme, von Schneide der Laterne einmal bis zum Angriffspunkt der wagerechten Verbindungsstange zum Dynamometer und bis zum Verbindungspunkt zwischen Führungsstange und Modell umzurechnen.

Um die Zulässigkeit dieses Schleppeverfahrens zu untersuchen, wurde das erste in dieser Weise geschleppte Modell durch Fortnahme des Decks in ein oben offenes Modell verwandelt und sodann nach Auflegung des Schleppebügels in der sonst üblichen Weise für die Überwasserfahrt geschleppt. Die nach beiden Verfahren ermittelten Widerstandslinien deckten sich vollkommen. Da sich bei Überwasserfahrten infolge der Trimmänderung des Modells der Hebelarm von der Laternenschneide bis zum Modell stetig ändert, wird ferner die senkrechte Verschiebung der vorderen Führungsstangen während jedes Versuches ermittelt.

Diese ursprünglich nur für Unterwasserfahrten bestimmte Einrichtung ist auch für Versuche mit oben offenen Modellen geeignet, die auf verschiedenen Wassertiefen geschleppt werden sollen. Da die untere Schneide des Dreieckhebels im Modelldynamometer in der Höhenlage nicht verstellbar werden kann, da ferner die Verbindungsstange zum Modell stets wagerecht eingestellt werden muß, kann für diese Versuche der Wasserspiegel nicht gesenkt werden, um auf diese Weise die Herstellung der gewünschten Wassertiefe zu erreichen. Man mußte daher bisher zur Erreichung des flacheren Wassers stets den eingebauten Boden heben, was nicht selten ein Ablassen und nachheriges Wiederauffüllen der Rinne nach jeder Versuchsreihe bedingte. Vermittels der oben beschriebenen Einrichtung ist es möglich, bei fest eingebautem Boden die gewünschte Wassertiefe durch Senkung des Wasserspiegels herzustellen und das Modell sodann an den verlängerten Führungsstangen zu schleppen. Wenn auch nicht beabsichtigt ist, bei einem Versuch, bei dem ein Modell z. B. nacheinander auf der zwölf-, zehn-, acht-, sechs-, vier- und zweifachen Wassertiefe seines Tiefgangs zu schleppen ist, die sechs verschiedenen Versuchsreihen lediglich durch Senkung des Wasserspiegels in der oben beschriebenen Weise

durchzuführen, da infolge des außerordentlichen langen Hebelarmes die am Dynamometer auftretenden Kräfte sehr groß werden würden, so wird es sich doch ermöglichen lassen, die Versuche bei einer nur einmaligen Senkung des Bodens für begrenztes Wasser durchzuführen, während sonst bei Verwendung des Froudeschen Dynamometers der Boden nach dem Einbau noch viermal verstellt werden müßte. Ermöglicht wird diese Art der Versuchsdurchführung, bei der das Dynamometer außerordentlich stark beansprucht wird, durch die kräftige Bauweise desselben. Verschiedentlich sind auf der Meßtrommel Widerstände bis zu 50 kg aufgezeichnet worden.

Umfang eines Schleppversuches. Im allgemeinen wird jedes Modell für drei verschiedene, gewöhnlich bei größeren Schiffen um 0,5 m auseinanderliegende Tiefgänge geschleppt, und zwar von sechs bis acht Knoten ab bis ungefähr drei Knoten über die größte verlangte Geschwindigkeit hinaus. Für jeden Tiefgang sind zur Bestimmung der Widerstandslinie je nach den Grenzen der Geschwindigkeit 30 bis 50 Fahrten erforderlich. Da die Anstalt Modelle bis zu 7 m Länge und 1 m Breite anfertigen und diese auch bis zu 7 m Geschwindigkeit in der Sekunde schleppen kann, und da ferner möglichst große Modellabmessungen für die Genauigkeit der Versuchsergebnisse erwünscht sind, gibt die Anstalt den zu erprobenden Modellen möglichst große Abmessungen. Die größten bisher geschleppten Modelle hatten eine Wasserverdrängung für den Konstruktionstiefgang bis zu rund 750 kg für Seeschiffe und bis zu rund 1300 kg für Kanalkähne.

Bei sämtlichen bisher für die Marine angefertigten Modellen wurden Linienschiffe und große Kreuzer in $\frac{1}{30}$, kleine Kreuzer in $\frac{1}{20}$ und Torpedoboote in $\frac{1}{15}$ Maßstab der linearen Abmessungen ausgeführt, so daß die Modelle ein und derselben Schiffsklasse stets im gleichen Maßstab untersucht werden, was für einen einwandfreien unmittelbaren Vergleich der Versuchsergebnisse untereinander zweifellos sehr günstig ist.

Zeitdauer der Versuche. Nach den bisherigen Erfahrungen erfordert die Anfertigung eines Modells, bis es als schleppfertig bezeichnet werden kann, einen Zeitraum von sechs bis acht Arbeitstagen. Zur Durchführung eines Schleppversuchs auf einen Tiefgang sind je nach den Grenzen der Geschwindigkeit eineinhalb bis zwei Tage erforderlich. Rechnet man für die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse zwei Tage, so kann ein Schleppversuch nach Eingang des Linienrisses des Schiffes, wenn es auf drei Tiefgängen geschleppt werden soll, nach 14 bis 18 Arbeitstagen abgeschlossen vorliegen. Für einen Versuch mit einem unter Wasser zu schleppenden Modell muß jedoch mit Rücksicht auf die weit zeitraubendere Arbeit für die Herstellung des Modells mit einem Zeitraume von rund 20 Arbeitstagen gerechnet werden. Seit Inbetriebnahme der Anstalt haben sich bisher stets mindestens drei Modelle gleichzeitig in Vorbereitung oder in der Untersuchung befunden. Während ein Modell geschleppt wird, kann das zweite auf der Fräsmaschine geschnitten und sodann weiter bearbeitet werden, ein drittes Modell wird zur gleichen Zeit eingeformt und gegossen.

Versuche mit Modellen mit Anhängen. Für die Untersuchung über den Einfluß der Formgebung auf die Größe des Widerstandes der Modelle genügt es, die letzteren „glatt“ zu schleppen, d. h. die Modelle für den Versuch nur

mit den Steven zu versehen. Ist es erwünscht, durch Schleppversuche den Einfluß zu ermitteln, den die Anhänge wie Ruder, Wellenböcke, Wellenhosen, Wellenausstritte, Schlingerkiele oder Dockkiele auf die Vermehrung des Schleppwiderstandes ausüben, so werden diese Teile aus Paraffin oder Holz angefertigt und in das Paraffinmodell eingegossen. Das Modell kann dann entweder mit allen Anhängen oder, wenn es sich darum handelt, den günstigsten Verlauf der Schlingerkiele oder den Einfluß der Wellenausstritte am Schiff durch Versuche zu bestimmen, mit den in Frage kommenden Anhängen allein geschleppt werden.

Lichtbildaufnahmen der Wellenprofile am Modell. Schon Froude hat auf Grund seiner ersten Versuche mit dem Modell des Greyhound darauf hingewiesen, daß die am Modell entstehenden Wellen ihrer Länge und Höhe nach übereinstimmen mit dem Wellenverlauf an dem in Fahrt befindlichen Schiff. Der Umfang dieser Oberflächenstörung, welche den Gesamtwiderstand des Modells wesentlich beeinflusst, ist abhängig von der jeweiligen Formgebung des Schiffes namentlich für höhere Geschwindigkeiten. Es ist daher von Wert, für eine Reihe von Geschwindigkeiten Lage und Größe der das Modell begleitenden Welle aufzuzeichnen. Dieses geschieht auf photographischem Wege oder durch Anreißen der Welle am Modell. Da später bei den Probefahrten das Schiff auch nur von einem Begleitdampfer, d. h. von einem Punkt dicht über Wasser aus photographiert wird, genügt es auch für die während der Modellversuche anzufertigenden Aufnahmen, die photographischen Apparate unter dem Versuchswagen ungefähr 25 cm über der Wasseroberfläche anzubringen. Je nach der Länge des aufzunehmenden Modells werden zwei oder drei Kameras unter dem linken Längsträger des Gerätewagens in ungefähr 2,5 m Abstand vom Modell befestigt. Die von der Firma Ottomar Anschütz s. Zt. für die Versuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal gelieferten Apparate für eine Plattengröße 13×18 cm haben Goerzsche Doppelanastigmaten von genau gleicher Brennweite und Momentrollverschlüsse. Sämtliche Aufnahmen werden mit Blitzlicht angefertigt. Neben den Apparaten werden zwei bis drei 20 cm lange Rinnen zur Aufnahme der aus gleichen Teilen Magnesium und übermangansaurem Kali bestehenden Blitzlichtmischung befestigt. Die Entzündung des Blitzlichtpulvers und die gleichzeitige Auslösung der Momentverschlüsse der Apparate erfolgt selbsttätig auf elektrischem Wege durch den Wagen, der kurz hinter dem Lichtschacht durch Herunterdrücken eines Druckknopfes den Stromkreis schließt. Während der gesamte Strom mit 110 Volt Spannung einen dünnen mit Blitzlichtpulver überschütteten Nickelindraht zum Glühen bringt, ist in dem Stromkreis zu den Magnetspulen der Momentverschlüsse ein starker Widerstand eingeschaltet. Der Wagenstrom wurde erst nachträglich für photographische Zwecke nutzbar gemacht, als eine für diesen Zweck ursprünglich bestimmte Trockenbatterie häufig zu Versagern Anlaß gegeben hatte.

Wie schon ausgeführt, dienen diese Lichtbildaufnahmen (Text-Abb. 19 bis 23) lediglich zum Vergleich der Welle am Modell und am Schiff. Für ein genaues Studium der das Modell begleitenden Welle genügt nicht nur eine Aufnahme derselben von der Seite, das Modell müßte vielmehr für diesen Zweck an einem Ausleger vor dem Wagen hergeschleppt

werden, so daß es gleichzeitig von der Seite, von oben, von vorn und hinten photographiert werden kann.

Im Vorversuch befinden sich zur Zeit noch Einrichtungen, um auch mit Hilfe photographischer Apparate unter Wasser

C. Einrichtung für Versuche mit Modellschrauben.

Hinter dem Modelldynamometer ist auf dem Gerätewagen das Schraubendynamometer aufgestellt, das zur Vornahme von Versuchen mit Modellschrauben bestimmt ist. Bei diesen

Versuchen handelt es sich um die Ermittlung des achsialen Schubes, d. h. der Nutzleistung der Schraube und der Kraft, die notwendig ist, die Schraube mit einer

bestimmten Umdrehungszahl zu drehen. Das jeweilige Verhältnis beider Werte gibt die Nutzleistung der Schraube. Die Schrauben werden entweder im freien Wasser oder hinter einem Schiffsmodell untersucht.

Die Schrauben werden, sofern sie hinter dem Modell geschleppt werden sollen, im gleichen linearen Verjüngungsmaßstab ausgeführt wie das Modell. Für die Herstellung der Schrauben kommt in erster Linie Bronze in Betracht, weil die einzelnen Teile nur dann

auf Hochglanz zur Verminderung der Reibung poliert werden können. Da die Anstalt jedoch keine Einrichtungen zum Guß derartiger Stücke besitzt, und da die auswärtige Bestellung von Gußstücken oft geraume Zeit in Anspruch nimmt, sollen sie bis auf weiteres wie in den anderen Versuchsanstalten aus einer leicht schmelzbaren Legierung hergestellt werden. Die Legierungen, die in Betracht kommen, haben etwa folgende Zusammensetzung:

	Zinn	Blei	Wismut	Antimon	Kalzium	Schmelzpunkt
1. Gewichtsteile . . .	10	3	2	1	—	—
2. „ . . .	4	8	15	—	3	68°
3. „ . . .	2	5	8	—	—	77°
4. „ . . .	1	1	1	—	—	99°



Abb. 19. Linienschiff. $v = 19\frac{1}{4}$ Knoten.

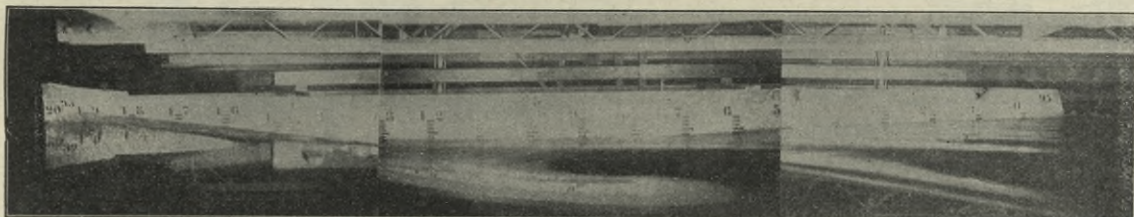


Abb. 20. Großer Kreuzer. $v = 24\frac{1}{2}$ Knoten.



Abb. 21. Kleiner Kreuzer. $v = 24\frac{1}{2}$ Knoten.

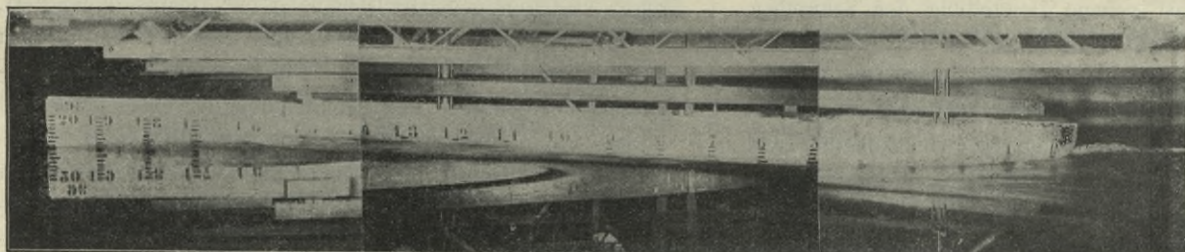


Abb. 22. Torpedoboot. $v = 30$ Knoten.

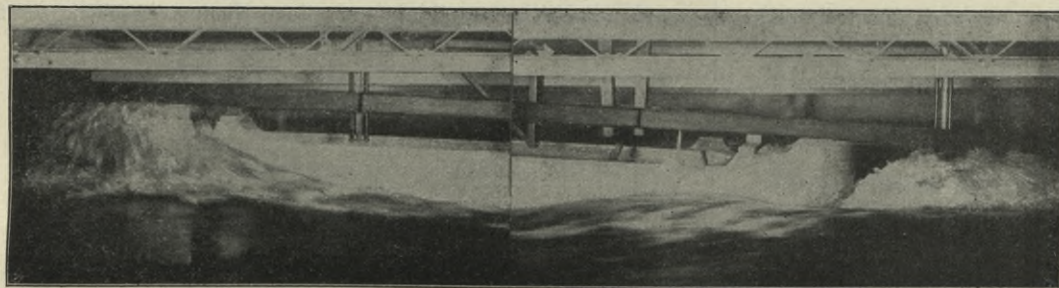


Abb. 23. Pionierponton. $v = 8$ Knoten.

Aufnahmen des in Fahrt befindlichen Modells vornehmen zu können. Die Versuche sind bisher daran gescheitert, daß es nicht gelungen ist, die Paraffinmodelle genügend stark zu beleuchten. Die ungemein große Lichtundurchlässigkeit des in der großen Rinne befindlichen, einem Tiefbrunnen entnommenen Wassers und der große Abstand der Lichtquelle vom Modell erschweren diese Versuche außerordentlich.

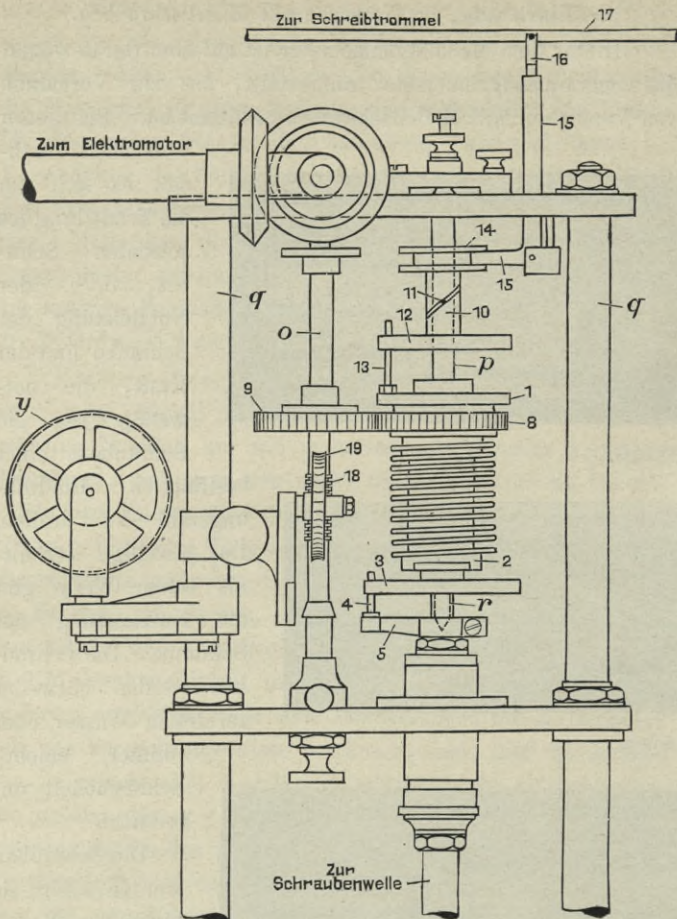


Abb. 24. Ansicht.

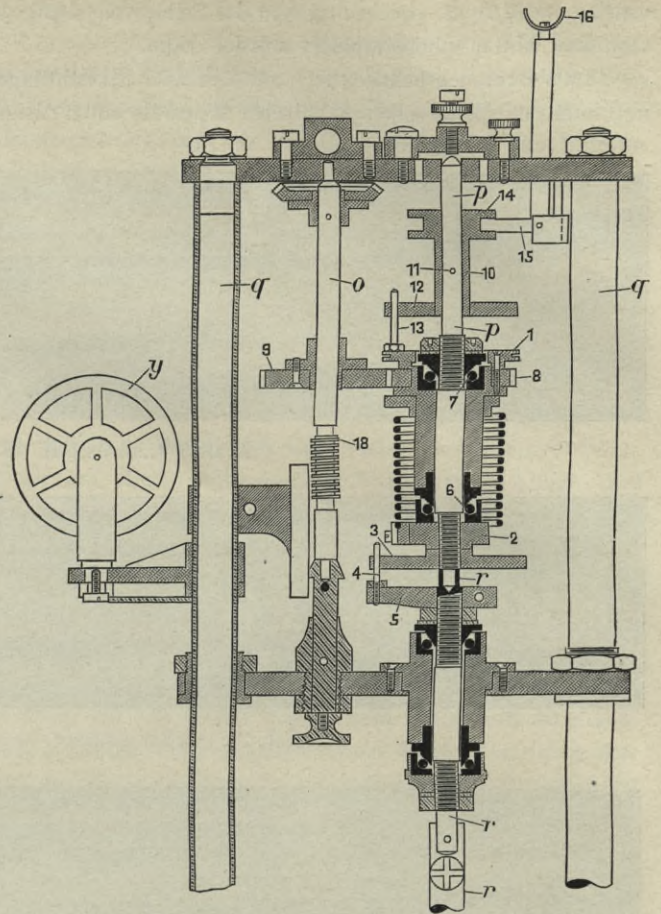
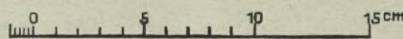


Abb. 25. Querschnitt.

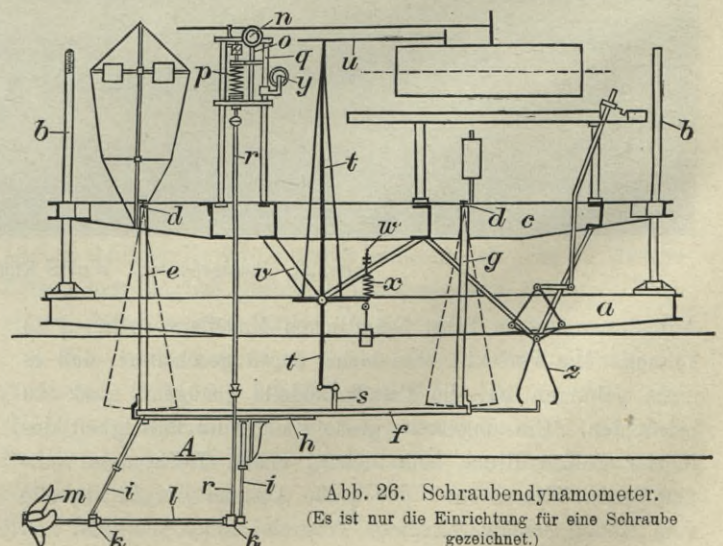
Abb. 24 u. 25. Torsionsdynamometer am Schraubendynamometer.

Da eine möglichst genaue Herstellung der Schrauben von größtem Wert ist, sollen die Schrauben nicht, wie bisher fast allgemein üblich, aus einem Stück angefertigt werden, da es bei diesem Verfahren äußerst schwierig ist, genau gleichen Abstand der Flügel voneinander innezuhalten und alle Flügel vollkommen gleich zu gestalten. Es empfiehlt sich vielmehr, Schraubennabe und Flügel einzeln anzufertigen und die Schraube dann zusammenzusetzen. Die Nabe wird aus einem vollen Stück Bronze gedreht, während die Flügel sämtlich aus einer der obigen Legierungen in einer Form gegossen werden. Die Flügel werden nach Fertigstellung auf der Nabe befestigt, diese Herstellungsweise gestattet auch noch eine für die Versuche erwünschte Verstellung der Flügel, d. h. eine Änderung der Schraubensteigung.

Nach der Fertigstellung wird die richtige Ausführung der Schraube vor der Erprobung auf der Schraubenaufmeßvorrichtung eingehend untersucht. Mit Hilfe dieser Vorrichtung kann der Abstand der Flügelspitzen von der Mitte der Nabe, Zentri- und Neigungswinkel der Flügelachsen und die Steigung der einzelnen Flügel an verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche bestimmt werden.

Die Schraubenaufmeßvorrichtung (Text-Abb. 27). In einem auf dem Untergestell *a* verschiebbaren Bock *b* ist eine Achse *c* wagerecht gelagert, auf deren freiem Ende die aufzumessende Schraube *d* mit ihrer Bohrung gesetzt wird. Die Drehung der Achse und der Schraube erfolgt entweder von Hand oder zur Feineinstellung mit Hilfe einer auskuppelbaren Schnecke mit Schneckenrad *e, f*. Auf dieser

Achse ist ferner eine Gradscheibe *g* mit Nonius *h* befestigt, die eine Ablesung des Zentriwinkels zwischen den Achsen der einzelnen Flügel gestattet. Die Bestimmung des Durchmessers der Schraube und der Steigung der einzelnen Flügel erfolgt durch einen Meßstift *i*, der mit Hilfe eines Kreuzschlittens *k, l* parallel und senkrecht zur Schraubenchse vor der Schraube entlang bewegt werden kann. Der Kreuzschlitten ist auf einem Sockel *m* verschiebbar auf der Grundplatte *a* angeordnet. Die Bewegung und Feineinstellung des Schlittens geschieht lediglich von Hand. Beide Schlitten sind mit Millimeterteilung und einem Nonius versehen. Auf

Abb. 26. Schraubendynamometer.
(Es ist nur die Einrichtung für eine Schraube gezeichnet.)

der Vorrichtung können Schrauben bis zu 350 mm Durchmesser und bis zu 700 mm Steigung aufgemessen werden.

Das Schraubendynamometer (Abb. 1 bis 4 Bl. 12, Abb. 2 Bl. 13 u. Text-Abb. 26). Das Schraubendynamometer gestattet zur Zeit die Erprobung von drei Schrauben; die Ergebnisse der Versuche mit den einzelnen Schrauben werden unabhängig voneinander auf einer gemeinsamen Schreibtrommel aufgezeichnet, auf der außer dem achsialen Schub und der zum Drehen der Schraube erforderlichen Kraft die Umdrehungen der einzelnen Schrauben, der Weg und die Zeit, d. h. die jeweilige Geschwindigkeit des Wagens aufgezeichnet werden. In den Ecken eines rechteckigen, auf vier Rädern gelagerten Rahmens *a*, der aus gebörtelten Blechen gebaut ist, sind vier senkrechte Schraubenspindeln *b* angeordnet, die mit Hilfe zweier Handräder und Kegelradübersetzung gleichzeitig gedreht werden können und dabei einen zweiten rechteckigen Rahmen *c* auf und nieder bewegen. In diesem oberen Rahmen hängen in Pendelfedern *d* frei beweglich drei von-

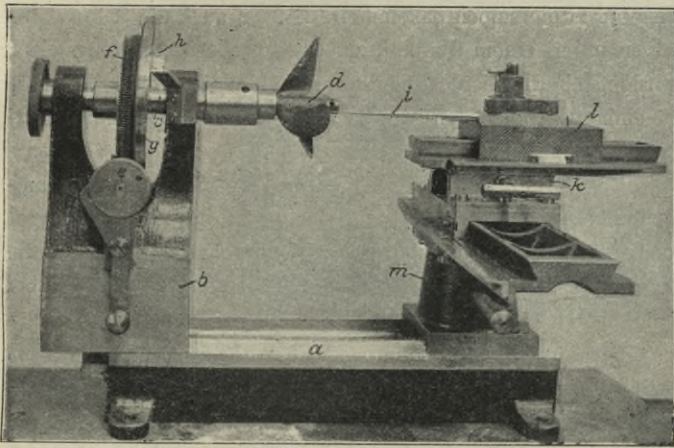


Abb. 27. Schraubenaufmeßvorrichtung.

einander unabhängige rechteckige Rahmensysteme *e*, *f*, *g*, die aus durchlochenden Winkeleisen möglichst leicht ausgeführt und doch genügend versteift sind. Unter den drei wagerechten Rahmen *f* dieses Systems werden die Schraubenträger *A* mit Flügelmuttern befestigt. Der Schraubenträger besteht aus einer Grundplatte *h* mit vier in Gelenken ruhenden Stützen *i*, die an ihrem unteren Ende paarweis je ein Kugellager *k* tragen, das die wagerecht angeordnete Schraubewelle *l* umschließt. Auf dem frei nach vorn gerichteten Wellenende wird die zu erprobende Schraube *m* gesetzt. Der Antrieb der Schrauben erfolgt zwangsläufig von einem auf dem hinteren Querträger des Gerätewagens aufgestellten 2 PS-Motor aus. Der Motor setzt eine quer zur Längsachse des Dynamometers, über dem Tisch gelagerte Welle *n* in Bewegung, von der gleichzeitig durch Vermittlung eines veränderlichen Vorgeleges und zweier Kegelradvorgelege drei senkrechte Zwischenwellen *o* angetrieben werden. Jede der Zwischenwellen ist zusammen mit dem zugehörigen Torsionsdynamometer *p* in einem dreibeinigen Bock *q* in Höhe des Zeichentisches gelagert. Die Achse des Dynamometers ruht mit ihrem unteren Ende in einem Spurlager der senkrechten Antriebswelle *r* der Schraubenachse.

Jeder der drei wagerechten, dicht über Wasser angeordneten Pendelrahmen trägt in der Mitte eine Querrippe *s*

mit einem Auge, in dem die Verbindungsstange zum Schubdynamometer befestigt ist. Dieses Dynamometer ist ähnlich ausgeführt wie das Modelldynamometer, nur besteht es aus einem ungleicharmigen Hebel *t*, dessen Arme im Verhältnis 1:3 stehen. An dem kürzeren unteren Arm greift die Verbindungsstange zum Pendelrahmen an, während der längere Arm ein Aluminiumrohr *u* mit Schreibfeder trägt. Das Dynamometer ist mit Doppelschneiden in einem zweiteiligen Bock *v* gelagert, der unter zwei Querträgern des oberen beweglichen Rahmens *c* befestigt ist. In einer wagerechten Verbindungsstange der hinteren Beine der beiden Böcke *v* ist senkrecht verschiebbar eine Schraube *w* mit feinem Gewinde vorgesehen, die an ihrem unteren Ende eine Schneide trägt, in der das obere Ende der Dynamometerfeder *x* ruht. Das untere Ende der Feder umfaßt die an einem dritten wagerechten Arm des Schubdynamometerhebels angebrachte Schneide. Die Feder wird durch Gewichte dauernd gespannt und damit der Pendelrahmen in der Ruhelage festgehalten.

Aufzeichnung des achsialen Schubes. Während der Versuchsfahrt wird sich der Pendelrahmen infolge des Drucks, den die Schraube bei ihrer Fortbewegung durch das Wasser in achsialer Richtung ausübt, in der Fahrtrichtung, d. h. nach vorn zu legen suchen, dadurch wird auch der Dynamometerhebel bewegt. Die Ausschläge dieses Hebels, die nach Eichung der Feder in der beim Modelldynamometer beschriebenen Weise die Größe des achsialen Schubes angeben, werden auf der Trommel für jede Schraube gesondert aufgezeichnet. Da der wagerechte Arm, an dem die Belastungsgewichte der Federn hängen, aus Mangel an Raum nur die halbe Länge des nach unten gerichteten Armes des Dynamometerhebels erhalten konnte, sind die aus den Schubdiagrammen ermittelten Werte zu halbieren zur Errechnung der wahren Größe des achsialen Schubes des Systems.

Torsionsdynamometer (Text-Abb. 24 u. 25). Die Kraft, die erforderlich ist, um die Schraubenwellen bei der jeweiligen Umdrehungszahl und Wagensgeschwindigkeit zu drehen, wird mit Hilfe eines Torsionsdynamometers besonderer Konstruktion gleichfalls für jede Schraube getrennt aufgezeichnet. Die Spindel des Torsionsdynamometers *p* ruht, wie bereits erwähnt, mit einem Spurzapfen im oberen Ende der senkrechten Antriebswelle *r* der Schraubewelle, während sie oben in der Deckplatte des dreibeinigen Bockes *q* in einem Halslager gelagert ist. Die auf Verdrehen beanspruchte Spiralfeder ist mit ihren beiden Enden am Umfange je eines Bundes 1 u. 2 zweier über die Achse gestreiften Hülsen befestigt; sie kann im Laufe des Versuches durch eine andere ersetzt werden. Das Torsionsdynamometer kann zum Auswechseln der Federn leicht aus dem Apparat herausgenommen werden. Die untere Hülse ist fest mit der Dynamometerachse verbunden und greift mit einer an ihrer Unterseite sitzenden Gabel *3* um einen Stift *4*, der auf einem Flansch *5* der senkrechten Antriebswelle befestigt ist. Die obere Hülse ist lose mit Spielraum über die Achse des Dynamometers geschoben und läuft in den Kugellagern *6* u. *7* auf der unteren Hülse und auf der Achse; sie trägt oben ein Stirnrad *8*, das in ein gleiches Rad *9* auf der mit ihr im dreibeinigen Bock gelagerten Zwischenspindel *o* eingreift, und eine Schnurscheibe *y*, die für die Eichung der Spiralfeder nach Beendigung der Versuche notwendig ist. Beim Anlassen des

Antriebmotors überträgt das Stirnrad 9 auf der senkrechten Zwischenwelle o die von ihm ausgeübte Kraft auf das Stirnrad 8 an der oberen Hülse des Torsionsdynamometers, spannt die Spiralfeder, bis sie imstande ist, das Drehmoment auf die untere Hülse und dann weiter durch Vermittlung der Mitnehmereinrichtung 3 bis 5 auf die senkrechte Antriebwelle r der Schraubenachse und damit auf die Schraubenwelle l zu übertragen.

Aufzeichnung der Torsionskraft. Mit Hilfe einer losen Hülse 10, die über dem Torsionsdynamometer auf die Achse desselben geschoben wird, kann die jeweilige Verdrehung der Spiralfeder auf die Schreibtrommel übertragen werden. Diese Hülse ist mit einem spiralförmigen Schlitz versehen, in dem sich ein in die Achse des Dynamometers eingeschraubter Stift 11 bewegt. Da die Hülse mit dem Schlitz mittels einer Gabel 12, die über einen Mitnehmerstift 13 auf den Bund der oberen Hülse 1 greift, an der Verdrehung dieser Hülse teilnehmen muß, während der Stift im Schlitz der Hülse von der jeweiligen Verdrehung der unteren Hülse des Torsionsdynamometers und der mit ihm fest verbundenen Achse abhängig ist, wird sich bei einer Kraftübertragung durch das Dynamometer, abgesehen von der Drehbewegung des Systems, die Hülse auf und nieder bewegen, entsprechend der jeweiligen Verkürzung der Meßfeder. Diese Hülse umschließt mit einer Führungsnut 14 ein Laufrädchen, das an dem einen Arm eines Winkelhebels 15 befestigt ist, der mit seinem Drehpunkt an der Deckplatte des dreibeinigen Bockes q befestigt ist. Der Winkelhebel trägt an seinem freien Arm in einer Gabel 16 einen Schreibarm 17, durch den die senkrechten Bewegungen der geschlitzten Hülse d. h. die Größe der Verdrehung der Spiralfeder zur Zeichentrommel hin übertragen wird.

Nach Beendigung einer Versuchsreihe wird die Torsionsfeder geeicht durch Gewichte, die an einer Schnur hängen, die über eine Rolle zur Schnurscheibe y an der oberen Hülse des Dynamometers geleitet ist. Vor Beginn der Eichung muß naturgemäß das antreibende Stirnrad 9 auf der Zwischenwelle ausgeschaltet werden, um eine freie Bewegung der oberen Hülse des Dynamometers um seine Achse zu ermöglichen, während die Antriebwelle zur Schraubenachse festzuklemmen ist.

Aufzeichnung der Umdrehungen, des Weges und der Zeit. Die jeweilige Umdrehungszahl der Schraube wird von der Zwischenwelle o aus aufgezeichnet, die unter dem Stirnrad eine Schnecke 18 trägt, in die entweder ein Schneckenrad 19 mit 10 oder 100 Zähnen eingreift. Nach jeder Umdrehung des Schneckenrades wird durch einen Kontakt der Stromkreis der Schreibvorrichtung geschlossen. Die größere Übersetzung ist erforderlich für Schrauben mit hoher Umdrehungszahl, da eine Aufzeichnung von 10 zu 10 Umdrehungen dann mit Rücksicht auf die geringe Umdrehungsgeschwindigkeit der Schreibtrommel nicht ausführbar ist. Die Schreibtrommel wird zusammen mit der Trommel auf dem Tische des Modelldynamometers und den Trommeln zur Aufzeichnung der Trimmänderung vom Rad des Gerätewagens angetrieben. Ferner werden auf beiden Trommeln die Zeiten in halben Sekunden von einem gemeinsamen Uhrwerk aus vermerkt.

Wie beim Modelldynamometer werden auch mit dem Schraubendynamometer nur Versuche in einer Richtung der

Rinne vorgenommen. Für die Rückfahrt werden die Rahmen durch eine gemeinsame Fangvorrichtung x (Text-Abb. 26) vom Zeichentisch aus festgestellt.

Mit Hilfe einer umfangreichen und feinstufigen Reguliervorrichtung am Anlasser des Motors, sowie durch Einschaltung eines auswechselbaren Vorgeleges zwischen Motor- und Antriebwelle der Schrauben kann die Umdrehung der Wellen bis auf 3000 in der Minute beliebig eingestellt werden. Diese hohen Umdrehungszahlen sind erforderlich für Versuche mit Schrauben, die durch Dampfturbinen angetrieben werden sollen.

Mit dem Schraubendynamometer können Versuche mit 1, 2 und 3 Schrauben an drei verschiedenen Wellen gemacht werden. Die Wellenachsen können parallel zueinander oder unter einem beliebigen Winkel zur mittleren Welle eingestellt werden. Ferner läßt sich eine Verschiebung der Wellen in der Längsrichtung gegeneinander ermöglichen. Da das Modell während der Fahrt seine Tauchung und Trimmelage ändert und damit auch die in der Ruhelage des Schiffes meist parallel zur Wasseroberfläche angeordneten Wellen eine Neigung zu derselben bekommen, können auch die Schraubenträger unter einem Winkel zur Wasseroberfläche eingestellt werden. Ferner ist es möglich, den Modellwellen, die meist in einer Ebene liegen werden, verschiedene Höhenlage zueinander zu geben.

Die vorderen Räder am Rahmen des Schraubendynamometers laufen exzentrisch in Buchsen, die um ihre wagerechte Achse drehbar sind. Diese Vorkehrung gestattet, die Schrauben auch hinter einem Schiffe laufen zu lassen, bei dem das Heck den Schraubenkreis überschneidet.

Durchführung eines Versuches mit Modellschrauben. Erst wenn das Modell seine Fahrt aufgenommen und sich für die betreffende Geschwindigkeit richtig zur Wasserlinie eingestellt hat, wird der Schraubenwagen mit Hilfe eines Gelenkhebels soweit nach vorn geschoben, daß die Schrauben in die Stellung kommen, die sie beim Schiff hinter den Wellenböcken, Wellenachsen oder hinter dem Schraubenstegen einnehmen. Der diesen Hebel bedienende Arbeiter muß dauernd darauf achten, daß die Schrauben dicht hinter dem Bock oder Stegen bleiben, ohne ihn jedoch zu berühren, da sonst die freie Bewegung des Modells in der Längsachse des Wagens behindert und die Größe des Modellwiderstandes sowie des achsialen Schubes beeinflusst wird. Nach dem Verschieben des Schraubendynamometers beginnen die Messungen an beiden Apparaten gleichzeitig. Die Wiederholung der Messung des Modellwiderstandes eines bereits ohne Schrauben geschleppten Modells ist erforderlich, weil der Modellwiderstand, beeinflusst durch die hinter dem Modell arbeitenden Schrauben, wesentlich vermehrt wird.

Während beim Modellversuch die der Schiffsgeschwindigkeit entsprechende Modellgeschwindigkeit um so kleiner wird, je größer das lineare Ähnlichkeitsverhältnis zwischen Schiff und Modell ist, verhält es sich mit der Umlaufgeschwindigkeit der Modellschraube umgekehrt. Ist z. B. das lineare Ähnlichkeitsverhältnis zwischen Schiff und Modell — folglich auch zwischen den Schrauben — 1:25, und würden die Schrauben bei 25 Knoten 250 Umdrehungen machen, so entspricht dem eine Schleppgeschwindigkeit des Modells von 2,57 m/sek und eine Umdrehungszahl der Modellschrauben von $250 \sqrt{25} = 1250$ in der Minute.

Die Schrauben werden, wie die Modelle mit steigender Geschwindigkeit, mit wachsender Umdrehungszahl geschleppt, dabei wird jedesmal achsialer Schub, Torsionskraft, Zahl der Umdrehungen, Zeit und Weg sowie am Modelldynamometer der Widerstand des Modells aufgezeichnet. Die Eichung der Federn wird in derselben Weise ausgeführt, wie vorher bei den Modellversuchen besprochen worden ist. Die Auswertung der Diagramme geschieht in ähnlicher Weise wie dort. Sodann werden achsialer Schub und Torsionskraft der Schrauben als Ordinaten zu einer Kurve aufgetragen, deren Abszissen die Zahl der Umdrehungen der Schraube sind. Da die Schrauben unter der Wasseroberfläche laufen und in ihrer jeweiligen Stellung durch Teile des Apparates festgehalten werden müssen, werden diese eingetauchten Teile der Schraubenträger und der Antriebvorrichtung die Widerstände der Schrauben vermehren. Der Leergangswiderstand dieser Teile ist durch eine Reihe von Versuchen zu bestimmen. Der Unterschied zwischen dem Gesamtwiderstand und dem Leergangswiderstand gibt sodann den achsialen Schub und die Torsionskraft der einzelnen Schrauben.

Legt man über die Linie des achsialen Schubes die Linie des — unter dem Einfluß der arbeitenden Schraube — Modellwiderstandes bezogen auf die Umdrehungen, so gibt der Schnittpunkt der Linien des achsialen Schubes und des Modellwiderstandes die Umdrehungen an, welche die Schrauben machen müssen, um durch ihre Nutzleistung den achsialen Schub, dem Widerstand das Gleichgewicht zu halten.

Einrichtungen für Versuche an vier getrennten Wellen. In den letzten Jahren hat sich die Dampfturbine mehr und mehr Bahn gebrochen als Antriebsmittel der Schiffe an Stelle der an der Grenze ihrer Wärmeausnutzung angelangten Mehrfach-Expansionsmaschine. Namentlich die englische, deutsche und französische Kriegsmarine haben mit diesem Antriebsmotor einzelne Schiffe ausgerüstet. Da dieser Motor öfters die Verteilung der Antriebschrauben auf vier voneinander unabhängigen Wellen bedingt, soll das Schraubendynamometer auch für Versuche in dieser Richtung eingerichtet werden. An die Stelle der drei Pendelrahmen tritt eine ähnliche Anordnung von vier Pendelrahmen, um auch hier wieder die Wirkungen der an den einzelnen Wellen sitzenden Schrauben unabhängig voneinander ermitteln zu können. Schub- und Torsionsdynamometer sind schon jetzt so aufgestellt, daß sie dichter aneinander gesetzt werden können, so daß Platz für die Meßeinrichtungen der vierten

Welle frei wird. Die Versuche werden in derselben Weise, wie mit drei Wellen durchgeführt.

Einrichtungen für Versuche mit Schaufelrädern. Auch für Versuche mit Schaufelrädern können Einrichtungen getroffen werden, die hier nur kurz erläutert werden mögen, da sie noch nicht ausgeführt sind. Unter dem Rahmen des Modelldynamometers werden auf beiden Seiten ungefähr in der Mitte desselben parallel zur Mittelachse des Apparates verschiebbare Konsolen angeordnet, die in der Längen- und Höhen- und Breitenrichtung verstellt werden können. Auf diesen Konsolen sollen Gleitbahnen befestigt werden, auf denen sich auf Rollen zwei Paar Gleitschuhe frei in der

Achsrichtung des Apparates bewegen können. In den als Kugellager ausgebildeten Lagern der Gleitschuhe ruhen die Achsen der Schaufelräder. Von jedem Gleitschuh aus führen zwei verstellbare feste Stangen zu den beiden seitlichen wagerechten Pendelrahmen im Schrauben-Dynamometer, so daß der achsiale Schub

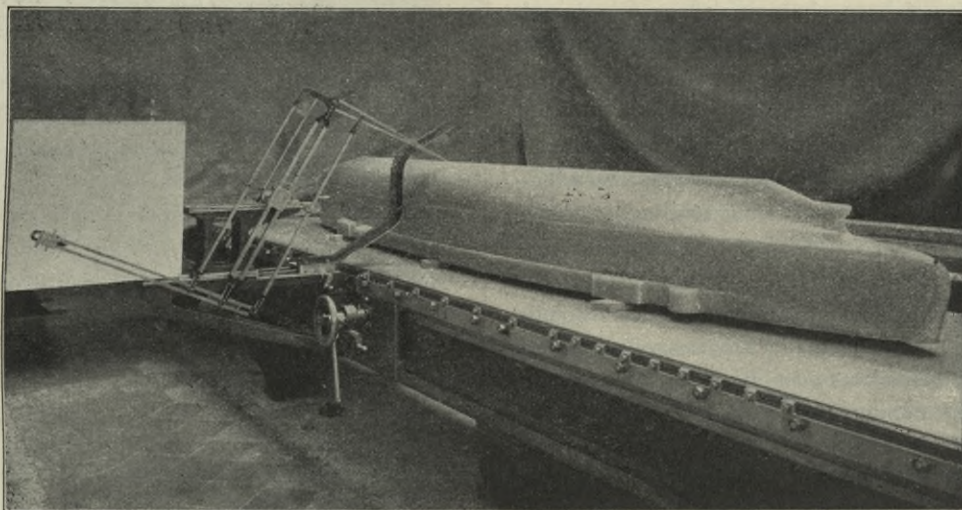


Abb. 28. Richtplatten und Modellaufmeßvorrichtung.

jedes Rades während des Versuches mit Hilfe eines Schubdynamometers auf die Schreibtrommel übertragen werden kann. Der Antrieb der Räder soll von den Schraubenwellen der beiden Rahmensysteme im Schraubendynamometer nach Einschaltung eines Kegelradvorgeleges oder einer Gelenkwelle bewirkt werden. Die zum Drehen der Räder erforderliche Kraft kann durch das Torsionsdynamometer gemessen werden. Für Versuche mit Schaufelrädern für Heckraddampfer soll eine ähnlich gedachte Anordnung am Hinterende des Modelldynamometerwagens und am mittleren Rahmensystem des Schraubendynamometers angebracht werden.

Sonstige Geräte.

Modellaufmeßvorrichtung und Richtplatte. (Abb. 18 bis 21 Bl. 11 und Text-Abb. 28.) Eine Reihe von Arbeiten am fertigen Modell wie z. B. das Abwickeln der vom Wasser benetzten Oberfläche, das Anreißern von Linien, das Anbringen von Anhängen usw. machen das Vorhandensein einer unveränderlichen Ebene erforderlich. Da sich erfahrungsgemäß selbst dreifach verleimte Tischplatten im Laufe der Zeit infolge des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft in der Anstalt verziehen, wurde während der ersten Betriebsjahre eine eiserne Richtplatte von 7,2 m Länge und 1,2 m Breite beschafft, die der Länge nach aus zwei Teilen zusammengesetzt ist. Im Innern der rund 0,4 m hohen Richtplatte sind die erforderlichen Längs- und Querrippen zur Versteifung angeordnet, sie ruht auf vier etwa 0,5 m hohen gußeisernen Füßen, die auf einer 1 m dicken Betonplatte

befestigt sind. An der einen Langseite der rund 0,4 m hohen Richtplatte ist eine Vorrichtung zum Aufmessen fertiger Modelle angebracht, sie besteht aus dem Tragarm mit Meßtisch und Zeichenbrett, dem Schlitten mit Storchschnabel und der Führungsschiene für den Storchschnabel. Ein Tragarm von etwa 0,85 m Ausladung ist in einer Führungsnut an der Längswand der Richtplatte angebracht und wird mit Hilfe eines Triebrades an einer mit der Richtplatte befestigten Zahnstange an dem aufzumessenden Modell entlang bewegt. Über der Zahnstange ist ein Maßstab mit Zentimeterteilung angebracht, an dem 25 Marken mit Noniusteilung entlang verschoben und festgestellt werden können. Mit Hilfe dieser Marken werden dem Arbeiter die Stellen am Modell kenntlich gemacht, die aufzuzeichnen sind, so daß er nur darauf zu achten hat, daß der am Tisch angebrachte Zeiger mit der Nulllinie der Marke einspielt. Auf dem Tragarm ist der Meßtisch befestigt, dessen oberer Teil zu Führungsleisten für den Schlitten mit der Achse des Storchschnabels ausgebildet ist. Der Storchschnabel ist aus hohlen Vierkant-Messingrohren gebaut. Die beiden für die Parallelführung erforderlichen Arme sind durch je vier stählerne Spanndrähte versteift. Durch Verschiebung des Drehpunktes im Schlitz des Mittelarmes wird das Übersetzungsverhältnis des Storchschnabels geändert. Durch ein an der Drehachse befestigtes verstellbares Gegengewicht kann das Gewicht des Storchschnabels ausgeglichen werden. Am freien Ende des Tragarmes ist ein senkrechter Bock mit Schlitten angebracht; an dem verstellbaren Schlitten wird das Zeichenbrett befestigt, das beim Aufmessen von Modellen mit Papier bespannt wird. Zur Führung des Fahrarmes des Storchschnabels dient eine verschiebbar auf dem Tragarm angeordnete gebogene Führungsschiene aus Winkeleisen.

Vorrichtung für Schlingerversuche. (Abb. 7 bis 9 Bl. 11 und Abb. 4 Bl. 13.) Zur Untersuchung der Frage der Schwingungsdauer von Modellen bei verschiedenartiger Massenverteilung ist eine Vorrichtung vorhanden, die die Verschiebung einer Anzahl geeichter Gewichte in senkrechter und wagerechter Richtung ermöglicht. Auf einer Grundplatte sind sechs Schlitten symmetrisch zur Mittellinie angeordnet, die durch Zahnstange und Trieb wagerecht verstellt werden können. Auf jedem Schlitten sind zwei senkrechte Führungsstangen angeordnet, über welche die Gewichte von rechteckigem Querschnitt geschoben werden können. Eine besondere Vorrichtung ermöglicht das Feststellen einer beliebigen Zahl von Gewichten, um ihr Gleiten bei schlingern dem Modell zu vermeiden. Die Schlitten mit den Gewichten können um 100 mm aus der Mitte verschoben werden.

Die Grundplatte mit den Gewichten ist an zwei in je einem Bock befestigten Schraubenspindeln von 40 mm Durchmesser aufgehängt und an ihren Endpunkten an vier paarweis zu den Böcken gehenden zylindrischen Röhren geführt, um ein Pendeln beim Schlingerversuch zu vermeiden. Mit Hilfe zweier durch eine Stange verbundenen Kurbeln können die Spindeln gleichzeitig gedreht und dadurch die Gewichte des Apparates der Höhe nach verstellt werden.

Die Böcke ruhen beim Versuch auf dem Rande des Modells und werden durch Feststellvorrichtungen gegen die Paraffinwandungen geklemmt. Grundplatte und Gewichte hängen in das Modell hinein. Beim Schlingerversuch wird

je einer dieser Apparate auf ungefähr ein Viertel der Länge von vorn und von hinten auf dem Modell aufgestellt (vgl. Abb. 4 Bl. 13). Der Apparat wiegt leer je rund 39 kg und ein vollständiger Satz Gewichte für ihn 84 kg.

In der Mitte des Modells wird ferner auf dem Rand ein Schreibarm aus Holz mit einer Schreibfeder befestigt, der auf einer in Bewegung befindlichen Tafel die Schwingungsausschläge des Modells aufzeichnet. (Abb. 1 bis 3 und 14 Bl. 11 und Abb. 4 Bl. 13.) Diese Tafel wird durch ein Uhrwerk mit Windfang bewegt und senkrecht an einem Rahmen geführt, der an einem quer über die Versuchsrinne gelegten Balken befestigt ist. Auf der nach unten fallenden Tafel werden außer den Schwingungen des Modells noch die Zeiten in halben Sekunden nach dem auf dem Wagen aufgestellten Uhrwerke aufgeschrieben.

Krängungspendel. (Abb. 4 bis 6 Bl. 11.) Vor Beginn eines jeden Schlingerversuches muß der Systemschwerpunkt des leeren Modells ermittelt werden, um rechnerisch die Höhenlage des Schwerpunktes der Zusatzgewichte ermitteln zu können, die so zu wählen ist, daß die metazentrische Höhe des auf dem in Frage kommenden Tiefgang liegenden Modells dem gleichen Maß des betreffenden Schiffes ähnlich ist. Diesem Zweck dient das Krängungspendel. Auf einem Brett, das auf dem Bord des Modells, ungefähr an der breitesten Stelle desselben befestigt wird, ruht auf drei Stellschrauben eine dreiarmlige Platte, die einen senkrechten Gradbogen trägt. Auf der Grundplatte ist eine Wasserwaage angebracht, um den Apparat in bezug auf die Längsachse des Modells wagerecht zum Wasserspiegel einstellen zu können. Vor dem Gradbogen ist auf der Grundplatte ein Schneidengerät angebracht, in dem auf einer Schneide eine senkrechte Stange ruht, die unten ein Gewicht in Form einer Kugel und oben einen Nonius trägt, der mit ungefähr $\frac{1}{2}$ mm Spielraum an der Teilung des Gradbogens entlang gleitet. Eine vor dem Nonius angebrachte Lupe gestattet eine genaue Ablesung der Stellung des Pendels. Bei Beginn des Versuches muß der Nullstrich am Nonius mit dem Nullstrich am Gradbogen übereinstimmen, dann steht der Apparat auch in bezug auf die Querachse des Modells wagerecht zur Wasseroberfläche. Durch Verschiebung eines bekannten Gewichts senkrecht zur Mittelachse des Modells wird dieses nach einer Seite übergeneigt, gekrängt. Die Größe des Ausschlagswinkels wird am Gradbogen abgelesen. Damit sind die Unterlagen geschaffen, um den Systemsschwerpunkt des leeren Modells errechnen zu können.

D. Die elektrische Anlage.

Versuchswagen, Modellschneidemaschine, beide Kreisel-pumpen sowie alle Arbeitsmaschinen haben elektrischen Antrieb erhalten; desgleichen ist für die Beleuchtung aller Räume elektrisches Licht vorgesehen, und zwar in der Vorhalle der großen Rinne und in dem Raume der kleinen Rinne je zwei Bogenlampen, während alle anderen Räume Glühlichtbeleuchtung erhalten haben.

Bei der Wahl der Stromquelle für die Anlage kam als Haupt Gesichtspunkt die unbedingt erforderliche Gleichmäßigkeit der Geschwindigkeit des Versuchswagens und die Möglichkeit einer weitgehenden und feinstufigen Regulierung der Anlaßmotoren desselben in Betracht. Von der Speisung aus

dem Netz der Berliner Elektrizitätswerke oder aus einer in der Anstalt aufzustellenden Dynamomaschine mußte schon mit Rücksicht auf die bei dieser Anordnung nicht zu vermeidenden Spannungsschwankungen Abstand genommen werden. Als Stromquelle für den Wagen wurde daher eine Akkumulatorenbatterie gewählt. Die geforderte möglichst weitgehende Regelung der Umdrehungen der Wagenmotore wird mittels Zellschaltung durch Spannungsregelung an der Batterie erreicht. Die verschiedenartige, von der Wagen- geschwindigkeit abhängige Inanspruchnahme der einzelnen

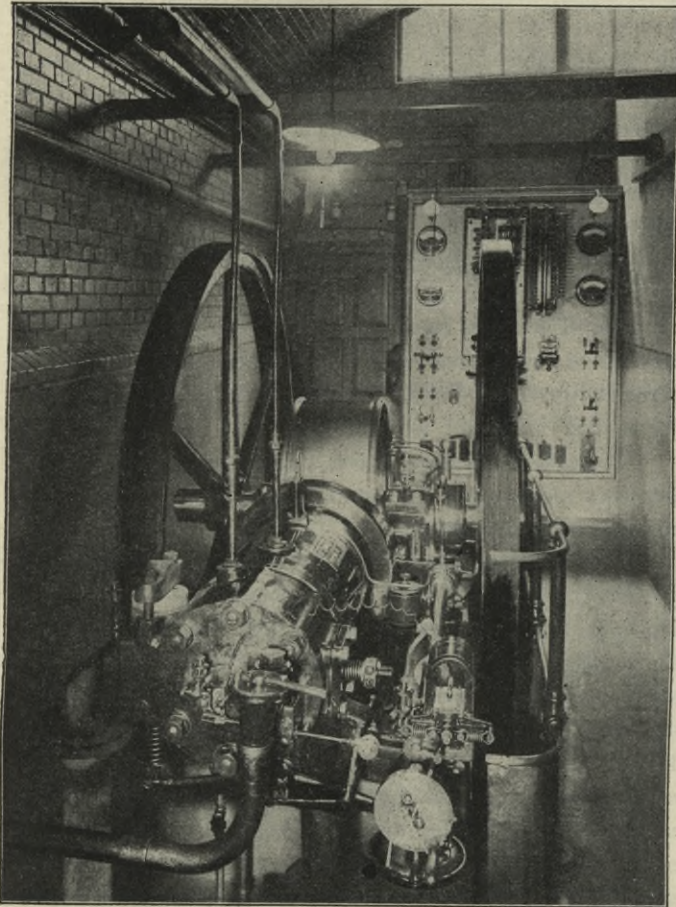


Abb. 29. Gasmotor und Schaltbrett.

Zellen der Batterie im Laufe eines Tages, derzufolge einzelne Zellen nahezu erschöpft sind, während andere nur teilweise entladen oder noch gar nicht an das Netz geschaltet worden sind, hätte bei der Annahme einer Ladung derselben aus dem städtischen Netz, also bei konstanter Spannung des Ladestroms, nicht unerhebliche Mehrkosten infolge der Bezahlung überschüssiger, in die Widerstände zu schickender Kraft bedingt. Zur Vermeidung dieses Übelstandes und zur möglichsten Verringerung der laufenden Betriebskosten wurde daher eine eigene Stromerzeugungsanlage vorgesehen. Die Anstalt wurde damit auch unabhängig von der Spannung im Netz der städtischen Werke (220 Volt) und konnte diese Spannung beliebig wählen. Mit Rücksicht auf die Wagen- motore und die geringeren Anschaffungskosten für die Zellen- batterie entschied man sich für eine Betriebsspannung von 110 Volt.

Der im Dauerbetrieb zweifellos billigere Gasgenerator- betrieb kam mit Rücksicht auf den stark wechselnden Betrieb der Stromerzeugungsanlage nicht in Frage. Es wurde daher

in dem Maschinenraum ein 16 PS-Gasmotor der Deutzer Fabrik aufgestellt (Text-Abb. 29), der durch Kreisseil eine Dynamomaschine von 85 Amp treibt. Der Kreisseiltrieb wurde mit Rücksicht auf Ruhe des Ganges und Gedrängtheit der Anlage gewählt und hat bisher zur Zufriedenheit gearbeitet. Die zum Aufladen der Batterie notwendigen Spannungsänderungen werden ohne Änderung der Umdrehungen des Antriebmotors lediglich durch Änderung der Erregung mit Hilfe eines Nebenschlußregulators erzielt, so daß die Dynamomaschine bis auf 160 Volt gesteigert werden kann. Dynamomaschine und Batterie können einzeln oder gemeinsam auf die Sammelschiene speisen.

Das Rückfließen des Stromes beim Laden der Batterie wird durch einen Rückstromausschalter verhindert, der den Dynamostromkreis selbsttätig unterbricht, sobald der in umgekehrter Richtung fließende Strom die zulässige Größe überschreitet. Die jeweilige Richtung des Stromes wird durch einen Stromrichtungsanzeiger am Schaltbrett kenntlich gemacht.

Die Zellenbatterie besteht aus sechzig Zellen nebst drei Vorschaltzellen in Glaskästen, sie besitzt eine größte Entladestromstärke von 250 Amp und eine Ladefähigkeit von rund 500 Amp-Stunden. Die Aufstellung ist in einem neben dem Maschinenraum liegenden Zellenraum in vier Reihen und zwar je zwei Reihen übereinander erfolgt. Die einzelnen Zellen sowohl wie die Reihen sind durch Bleileisten miteinander verbunden. Ein kombinierter und ein einfacher Zellschalter, deren Schleifbürsten durch Spindeln und Muttern bewegt werden, dienen beim Entladen der Batterie in die Wagenmotoren zur Unterteilung der Batteriespannung. Die Zellen sind so angeschlossen, daß jede beliebige Spannung von 120 — 2 Volt eingestellt werden kann. Die jeweilige Arbeitsspannung wird an einem Voltmeter abgelesen.

Der Antrieb des Versuchswagens erfolgt durch zwei in Reihen geschaltete Nebenschlußmotoren von je 10 PS, die durch einen Walzenanlasser, wie ihn in ähnlicher Ausführung die Straßenbahnwagen führen, angelassen, als Bremse geschaltet und umgesteuert werden können. Zur Erreichung eines hohen Anzugsmomentes der Motoren, d. h. zur Abkürzung der Anfahstrecke des Wagens, wird beim Anfahren der Magnetstrom durch Kurzschließung eines Vorschaltwiderstandes verstärkt. Ein neben dem Anlasser angebrachter Nebenschlußregler gestattet innerhalb der an der Batterie einstellbaren Geschwindigkeitsstufen eine weitere Änderung der Geschwindigkeit, wodurch eine Geschwindigkeitsabstufung von 1 cm erreicht werden kann.

Seitlich am Rande des Beckens sind unter dem Dach der Halle als Speiseleitung drei kupferne Drähte gespannt (Abb. 3 Bl. 13). Sie sind so hoch über der Wagenplattform angeordnet, daß eine bequeme Prüfung derselben ermöglicht und zugleich eine unbeabsichtigte Berührung ausgeschlossen ist. Der Batteriestrom wird nach Einstellung der für die Wagengeschwindigkeit erforderlichen Zellenzahl über einen doppelpoligen Ausschalter den beiden außen liegenden Spanndrähten zugeführt, während der Magnetstrom von 110 Volt Spannung über einen Schalter in den dritten Spanndraht fließt. Die Speiseleitungen sind so angeordnet, daß durch die Bewegung des Wagens an den Drähten entlang die Länge der jeweilig eingeschalteten Leitungen und damit der ihrem inneren Widerstand entsprechende Spannungsabfall nicht ver-

ändert wird. — Von den Wagenleitungen wird der Strom dem Wagen vermittelt sechs federnder, angepreßter Schleifkontakte zugeführt, die an einem auf dem Wagen befindlichen Mast befestigt sind.

Ungefähr 40 m vom Ende der Rinne entfernt sind die Wagenleitungen unterbrochen und durch einen Widerstand verbunden, ungefähr 6,5 m dahinter sind die Wagenleitungen ferner in sich kurz geschlossen. Sobald der Wagen die erste Unterbrechungsstelle erreicht, wird der Ankerstrom unterbrochen und darauf über den Widerstand kurz geschlossen; dadurch tritt die vorherbesprochene Schaltung für die Ankerkurzschlußbremse auch ohne Beihilfe des Wagenführers selbsttätig ein. Nach dem Durchfahren der ersten Bremsstrecke werden die Motore auf der zweiten Strecke unmittelbar kurz geschlossen und die Bremswirkung auf diese Weise bedeutend gesteigert. Diese Vorkehrung sichert beim Versagen des Anlassers oder bei einer Unachtsamkeit des Wagenführers den Wagen vor Beschädigung. Die Unterbrechungen sind soweit vom Ende der Rinne entfernt, daß der Wagen auch bei der größten Geschwindigkeit von 7 m in der Sekunde noch rechtzeitig zum Stehen kommt, wie durch eingehende Versuche bei der Übernahme der Anlage von der Baufirma nachgewiesen worden ist. Die selbsttätige Bremsvorrichtung soll und muß stets nur eine Sicherheitsvorrichtung bleiben, da durch ihre Betätigung nicht nur die Schienen sehr leiden, sondern da auch die auf das sorgfältigste kreisrund abgedrehten Räder infolge der plötzlichen Umsteuerung der Motore festgehalten und mit dem Wagen durch die lebendige Kraft der bewegten Masse ein Stück über die Bahn geschleift werden und schon nach einer paarimaligen Wiederholung des Versuches deutliche Abflachungen zeigen, die zu Stößen bei den Versuchsfahrten Veranlassung geben.

Die auf dem Wagen im Magnetstrom vorhandene gleichmäßige Spannung wird außerdem zur Wagenbeleuchtung und zur Speisung des zum Antrieb der Schrauben auf dem hinteren Querträger des Gerätewagens aufgestellten Motors benutzt. Der Motor zum Antrieb der Schrauben ist mit einer vielstufigen Nebenschlußregelung versehen, die eine beliebige Einstellung der Umdrehungen zwischen 500 und 1500 gestattet.

Als Antriebmotor des Wagens der Modellschneidemaschine dient ein regulierbarer Elektromotor von 2 PS größter Leistung mit Nebenschlußregelung. Der die Maschine bedienende Arbeiter stellt mit dem Fuß den Nebenschlußregler ein. Die Geschwindigkeit des Wagens ist veränderlich innerhalb der Grenzen 0,5 m bis 0,8 m in der Minute. Durch einen Umschalthebel kann dieser Motor umgesteuert werden. Die beiden auf den Fräterspindeln befestigten Antriebmotoren der Fräsmesser haben einen gemeinsamen Anlasser. Der Strom wird ihnen durch biegsame Kabel zugeführt.

Dem $\frac{1}{16}$ PS-Motor des Randfräfers wird durch ein biegsames Kabel der erforderliche Strom von einem Steckkontakt der Lichtleitung aus zugeführt.

Das Schaltbrett für die sachgemäße Bedienung der elektrischen Anlage befindet sich im Maschinenraum neben dem Raum für die Zellenbatterie. Den Hauptplatz auf demselben nehmen die beiden Zellschalter ein. Außerdem sind auf demselben die erforderlichen Strom- und Spannungsmesser,

die Schalter, ein Nebenschlußregler, der Rückstromautomat, der Stromrichtungsanzeiger sowie die notwendigen Lampen und Sicherungen angeordnet.

Das an die Sammelschiene angeschlossene Beleuchtungsnetz ist in zwölf Gruppen zur möglichsten Ersparnis an Lichtstrom geteilt.

Werkstatteinrichtung.

Für die Einrichtung der Werkstatt war der Gesichtspunkt maßgebend, daß die Anstalt nicht nur alle für die Herstellung der Modelle erforderlichen Arbeiten, sowie kleine Ausbesserungen an den Apparaten und der elektrischen Anlage auszuführen in der Lage sein sollte, sondern daß auch kleinere Meßvorrichtungen vom Personal der Anstalt selbstständig ausgeführt werden sollten.

Die Werkstatt, die den größten Teil eines 1905 der Anstalt überwiesenen Stadtbahn Bogens einnimmt, ist daher mit folgenden Maschinen ausgestattet worden: 1. eine Revolverdrehbank, 2. eine kleine Bohrmaschine, 3. eine kleine Bandsäge.

Sie ist ferner im Laufe der ersten Betriebsjahre mit allen für Tischler-, Mechaniker-, Schlosser- und Klempnerarbeiten erforderlichen Werkzeugen und Einrichtungen ausgerüstet worden. In ihr werden zurzeit beschäftigt zwei Mechaniker und zwei Modelltischler.

Die Arbeitsmaschinen haben wegen des stark wechselnden Betriebes elektrischen Einzelantrieb erhalten, der sich bisher auf das beste bewährt hat.

Die Berliner Anstalt war die erste auf dem Kontinent, die nicht, wie z. B. noch die Anstalt des Norddeutschen Lloyd in Bremerhaven, mit englischen Meßgeräten arbeitet. Die in einer der ersten Sitzung des der Bauleitung zur Seite stehenden Ausschusses von diesem aufgestellte Forderung, daß sämtliche Maschinen und Geräte nur von deutschen Firmen bezogen werden sollten, stieß bei der Ausführung anfangs auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Mehrere unserer ersten Firmen des Elektrizitätsfaches beschränkten sich bei der ersten Ausschreibung nur darauf, ihre auf Lager vorhandenen Elektromotoren anzubieten, ohne den Plan der elektrischen Anlage einer eingehenderen Bearbeitung zu unterziehen. Auf die Ausschreibung der Meßgeräte ging nur ein Angebot ein.

Zu großem Dank ist die Anstalt daher dem damaligen Direktor der Zweigniederlassung der Firma Schuckert u. Ko.-Nürnberg in Berlin, Herrn Schulthes, verpflichtet, der sich, unterstützt von den Herren Ingenieuren Basenach und Beese, eingehend mit dem Entwurf beschäftigte, die bauleitenden Beamten jederzeit mit seinem Rat unterstützte und schließlich für seine Firma neben der Herstellung der elektrischen Anlage auch die Lieferung des Meßwagens und der Modellschneidemaschine übernahm. Die letztere wurde in den Werkstätten der Berliner Zweigniederlassung, der Wagen von der Augsburger Maschinenfabrik in Nürnberg gebaut.

Zu gleichem Dank ist die Anstalt der sonst schon auf dem Gebiete der Feinmechanik rühmlich bekannten Firma Fueß-Steglitz und ihren Ingenieuren, den Herren Jordan und Schoof, für die sorgfältige und sachgemäße Durchbildung und Bauausführung des Modelldynamometers, des Schraubendynamometers, der Schraubenaufmeßvorrichtung, sowie der Schlinger- und Krängungsvorrichtung verpflichtet.

Die Modellaufmeßvorrichtung wurde nach Inbetriebnahme der Anstalt durch Vermittlung der Siemens-Schuckert-Werke durch die Maschinenfabrik von Kärger-Berlin hergestellt.

Eine wesentliche Unterstützung und Förderung wurde dem mit der Ausarbeitung des Entwurfes für die Maschinenanlage beauftragten Beamten dadurch zuteil, daß ihm von der Direktion des Norddeutschen Lloyd in Bremen in entgegenkommender Weise gestattet wurde, vier Wochen hindurch an den Arbeiten der Bremerhavener Versuchsanstalt zu seiner Unterrichtung teilzunehmen, deren damaliger Leiter, Herr Professor Schütte-Danzig, jede gewünschte Auskunft bereitwilligst gab.

Bisherige Tätigkeit der Anstalt.

Bis zum April 1908 sind in der Wasserbauabteilung außer den früher erwähnten Versuchen noch Modellversuche über die Ablagerung von Sinkstoffen an den Hafeneinfahrten von Brunsbüttel und Wilhelmshaven und Anordnungen zur Vermeidung derselben, ferner über die Wirkung von Regulierungsbauten in der Weichsel von km 36 bis 42 und über Verbesserung von Wassergeschwindigkeitsmessern für Modellversuche gemacht. In der Ausführung befinden sich noch Versuche über die Wirkung von Wasserpolstern vor Tal-sperrenmauern und Vorversuche über die Einwirkung des Schleppdampferbetriebes auf die Sohle und Böschungen der Kanäle.

Die bisherige Tätigkeit der Schiffbauabteilung hat sich in der Hauptsache neben der Vornahme von Flügeleichungen auf die Ausführung von Modellschleppversuchen beschränkt.

Angefertigt und untersucht wurden im Laufe von fast fünf Jahren rund 200 Modelle, von denen der größte Teil im Auftrage des Reichs-Marinamts geschleppt wurde. Umfangreiches und wertvolles Material ist durch diese Versuche in den Besitz der Anstalt gelangt.

Alle seit 1905 in Bau gegebenen Kriegsschiffe und fast alle Spezialschiffe der deutschen Marine sind in der Königl. Versuchsanstalt geschleppt worden. Die meisten Linienrisse für die Versuche sind nach den Anweisungen des Konstruktionsdepartements des Reichs-Marineamts in der Anstalt entworfen worden. Die Formgebung dieser Schiffe wurde nach dem Ausfall der Versuche abgeändert. So sind die für die gegebenen Abmessungen jeweilig günstigsten Formen der Linienschiffe der Deutschland-, Nassau- und Ersatz Oldenburg-Klasse, der großen Kreuzer Scharnhorst, E, F und G, der kleinen Kreuzer Königsberg-, Stettin-, Ersatz Komet- und Ersatz Greif-Klasse, sowie einer Reihe von Spezialschiffen durch Versuche ermittelt worden.

Die Hoffnungen, welche die Marine auf Grund einiger nicht umfangreicher Schleppversuche in Spezia und Bremerhaven auf die Königl. Versuchsanstalt gesetzt hat, dürften durch die in fünfjähriger Tätigkeit erzielten Erfolge in vollem Umfange bestätigt worden sein. Die Versuchsanstalt hat sich

für die Marine als unentbehrlich für die Vor- und Projektierungsarbeiten unserer Neubauten erwiesen, soweit die Formgebung der Schiffe dabei in Frage kommt.

Die Kaiserliche Marine, die anfangs nur beabsichtigte, in jedem Etatsjahr die Anstalt während dreier Monate zu benutzen, hat bisher fast regelmäßig nahezu die doppelte Zeit für ihre Versuche gebraucht. Bei dem großen Wert, den diese Versuche für die Weiterentwicklung unserer Schiffstypen haben, wurde der Marine eine längere Benutzungszeit eingeräumt, obwohl dadurch eine ganze Reihe wichtiger und wertvoller Untersuchungen auf anderen Gebieten vorläufig zurückgestellt werden mußten.

Im Auftrage des Königl. Preußischen Ingenieur-Komitees wurde durch Schleppversuche die günstigste Formgebung der neuen inzwischen in die Armee eingeführten Pionierpontons ermittelt. Die für hohe Stromgeschwindigkeit in der Versuchsrinne ermittelte Form hat sich nach den der Anstalt zugegangenen Mitteilungen auch in der Praxis bewährt.

Während mehrerer Monate im Sommer 1906 und 1907 wurden in der großen Rinne im Auftrage der preußischen Wasserbauverwaltung eingehende Schleppversuche mit Modellen von Kanalkähnen im Kanalquerschnitt ausgeführt, über die teilweise bereits an anderer Stelle*) berichtet worden ist.

Eine Reihe größerer Privatwerften, nämlich die Firmen: Vulkan, A.-G.-Stettin, Blohm u. Voß-Hamburg, Schichau-Elbing und Fr. Krupp, Germania-Werft, A.-G.-Kiel haben gleichfalls die Anstalt mehrfach mit der Vornahme von Schleppversuchen beauftragt.

Zu eigenen, umfangreicheren, wissenschaftlichen Untersuchungen, wie sie von Anfang an im Arbeitsplan der Anstalt vorgesehen waren und wie sie allseitig als erforderlich zur Klärung der Frage des Schiffswiderstandes angesehen werden, ist die Schiffbauabteilung bisher aus Mangel an Zeit nicht gekommen, da stets dringlichere Aufträge von seiten der Behörden oder der Privaten vorlagen.

In den ersten Betriebsjahren, in denen die Anstalt von den staatlichen Behörden weniger als in den letzten Jahren in Anspruch genommen wurde, konnten Vergleichsversuche mit den Schwesteranstalten in Bremerhaven und Übigau durchgeführt werden. Ferner wurde durch Schleppversuche mit einem in verschiedenen Maßstäben ($\frac{1}{40}$, $\frac{1}{35}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{20}$) ausgeführten Modell eines kleinen Kreuzers von 25 Knoten Geschwindigkeit die Richtigkeit des Froudeschen Ähnlichkeitsgesetzes nachgeprüft.

Es ist zu hoffen, daß in absehbarer Zeit die Anstalt wieder an ihre vornehmste Aufgabe herantreten kann, durch wissenschaftliche, systematische Untersuchungen Arbeit zu leisten zur Lüftung des fast über alle Fragen der Hydromechanik zurzeit noch ruhenden dichten Schleiers.

*) Thiele, Modellversuche über Form und Größe des Kanalquerschnitts. Zeitschrift f. Bauwesen 1907, S. 560 bis 568.

Buchdruckerei des Waisenhauses in Halle a. d. S.





Abb. 1. Kopfbau der großen Rinne. 1: 250.

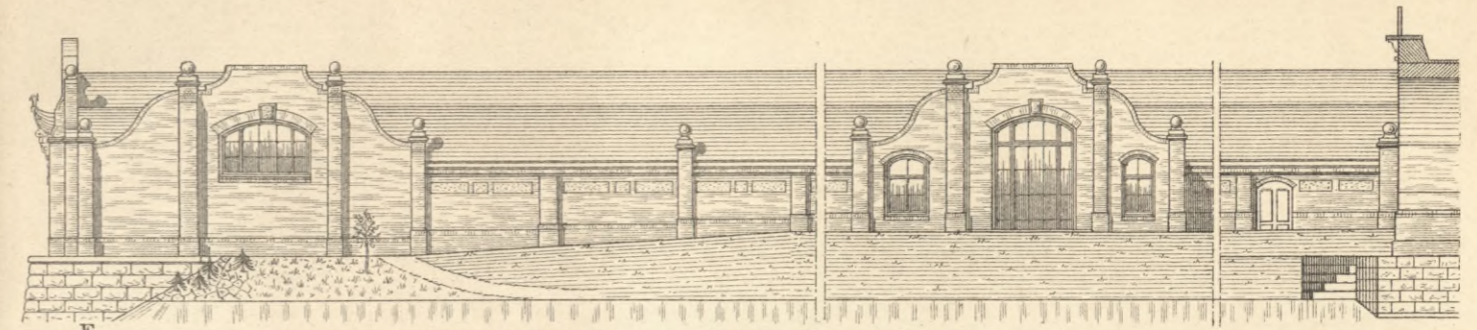


Abb. 2. Südseite der großen Rinne. 1: 250.

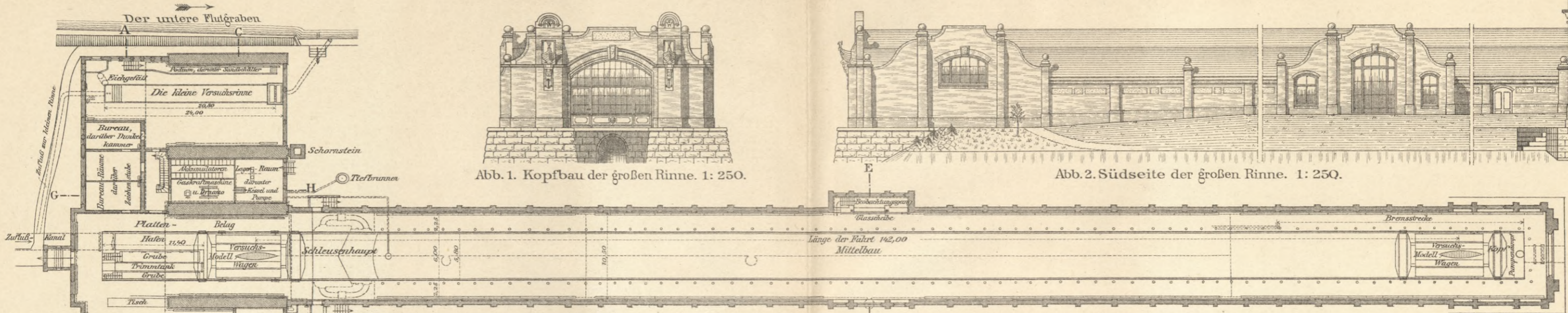


Abb. 3. Grundriß. 1: 500.

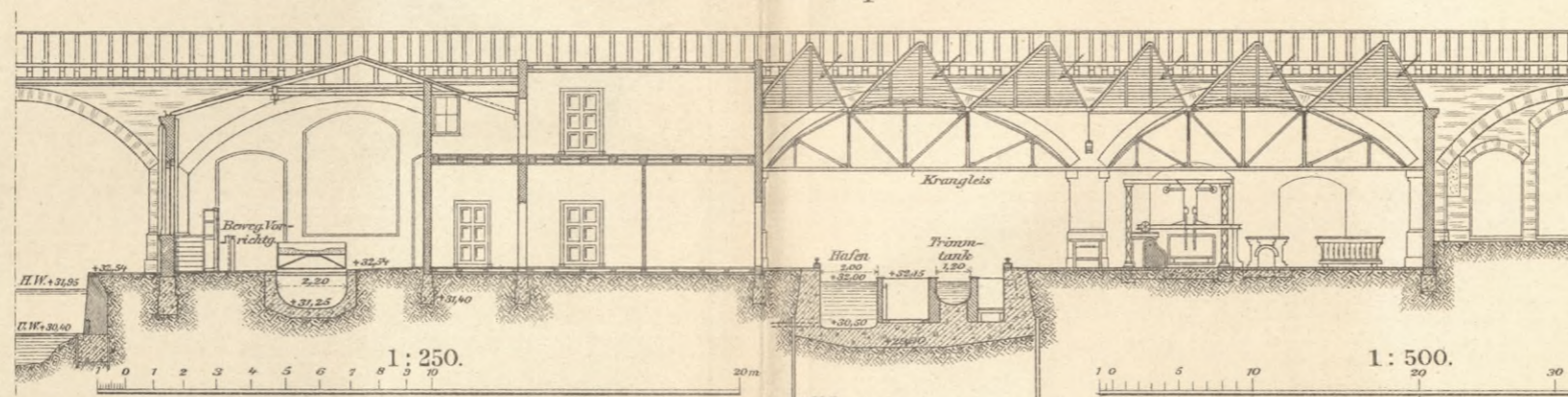


Abb. 5. Schnitt A-B. 1: 250.

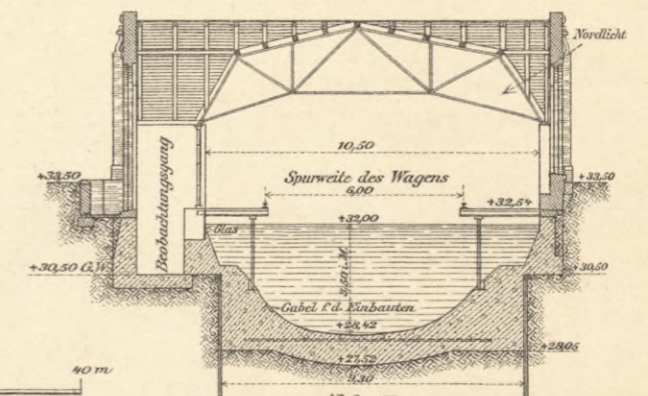


Abb. 7. Schnitt E-F. 1: 250.

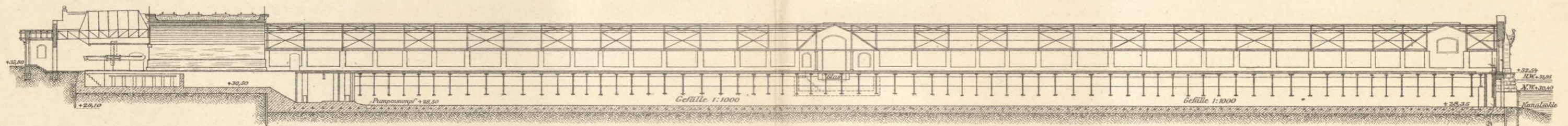


Abb. 4. Längenschnitt. 1: 500.

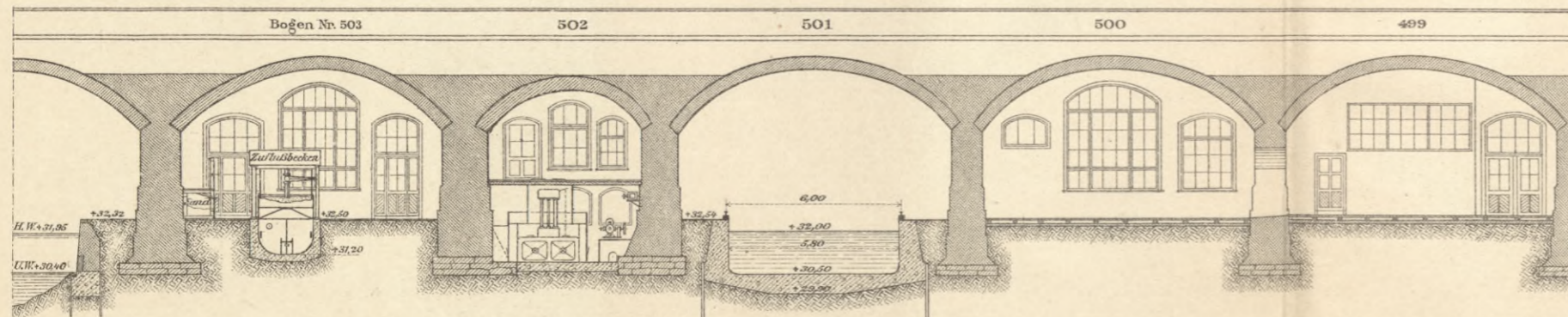


Abb. 6. Schnitt C-D. 1: 250.

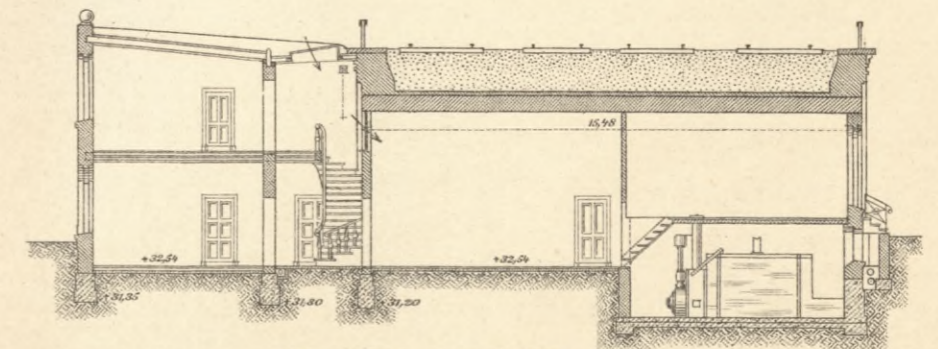


Abb. 8. Schnitt G-H. 1: 250.



Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffbau in Berlin.

Die kleine Versuchsrinne.

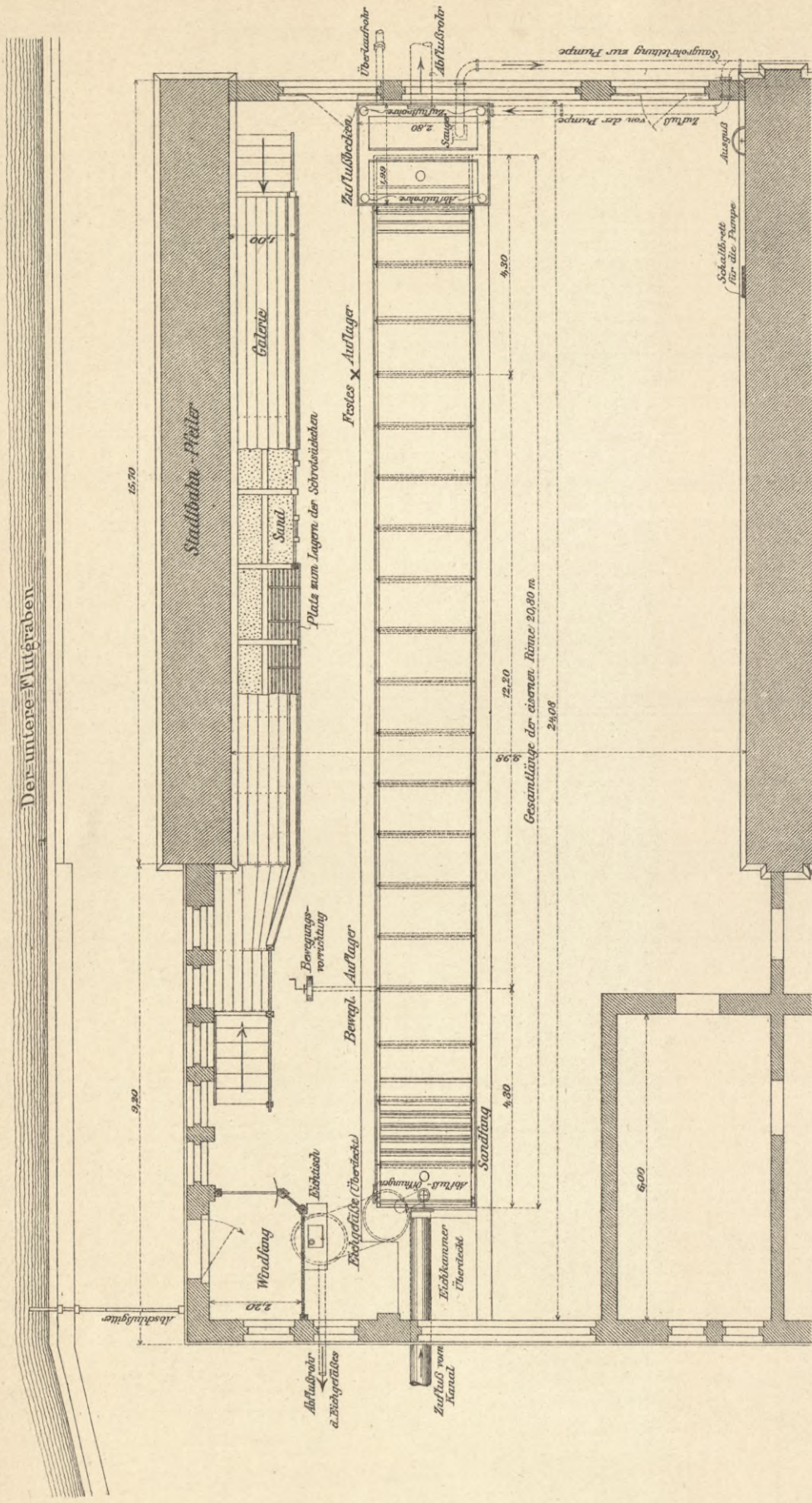


Abb. 1. Grundriß. 1:125.

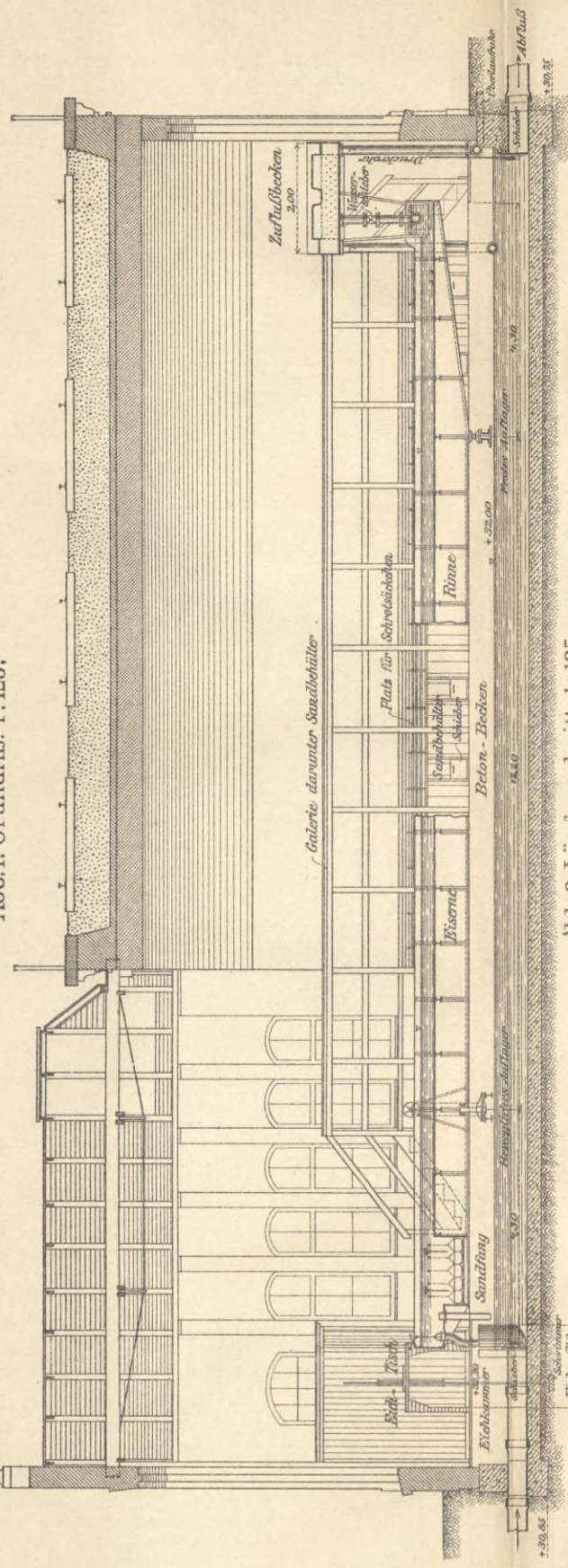


Abb. 2. Längenschnitt. 1:125.

Abb. 7 u. 8. Der Profilzeichner. 1:15.

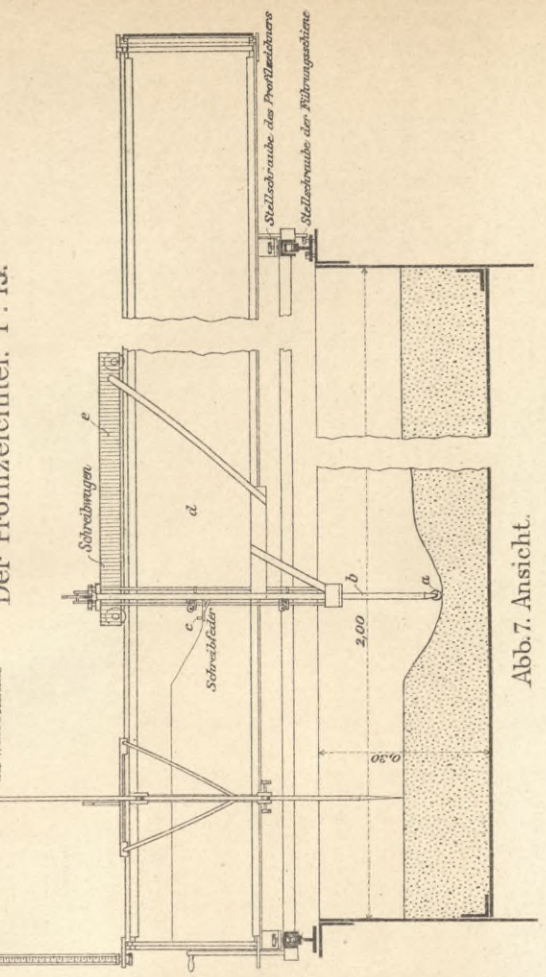


Abb. 7. Ansicht.

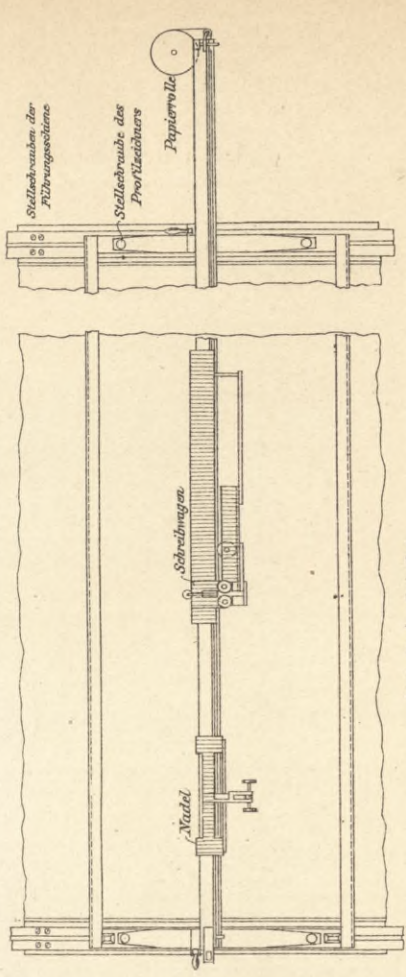


Abb. 8. Aufsicht.

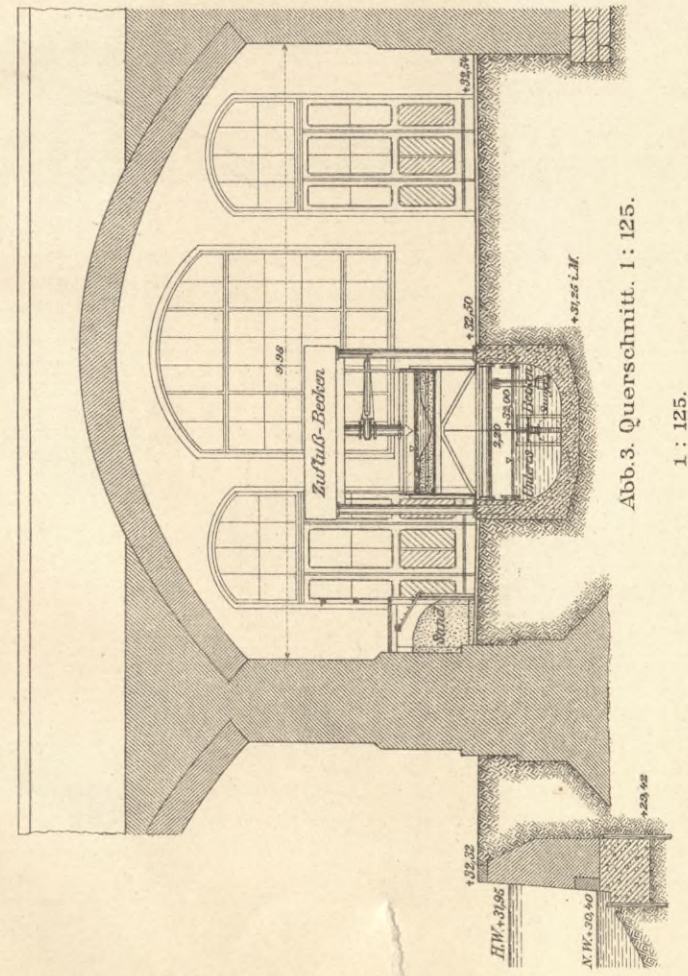


Abb. 3. Querschnitt. 1:125.

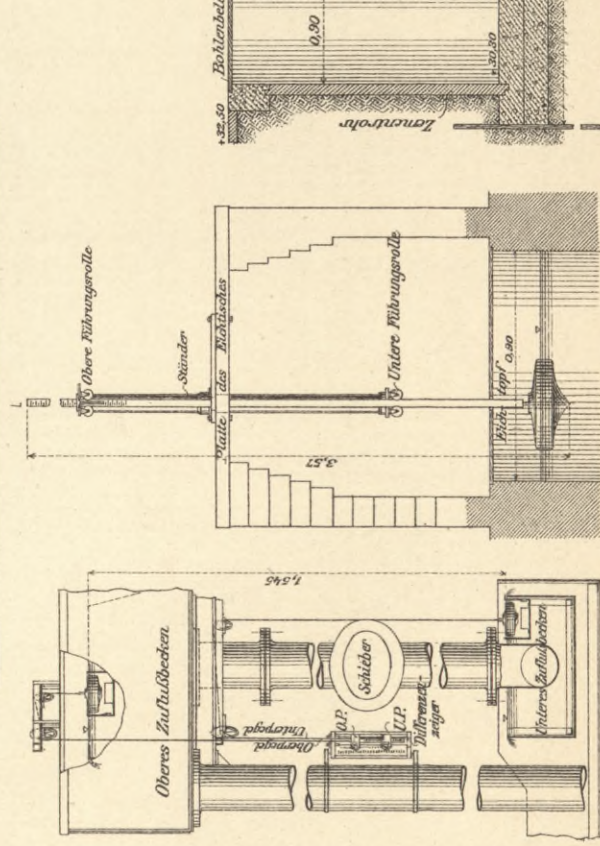
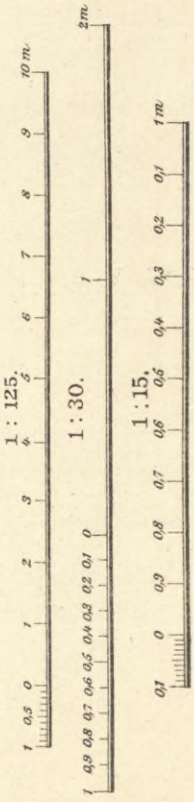


Abb. 4. Doppelpegel am Zulauf. 1:30.

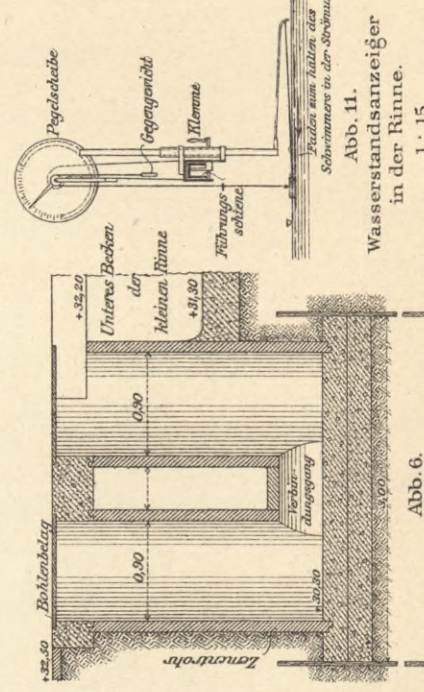


Abb. 6. Schnitt a-b-c durch das Eichgefäß. 1:75. (s. Abb. 1)

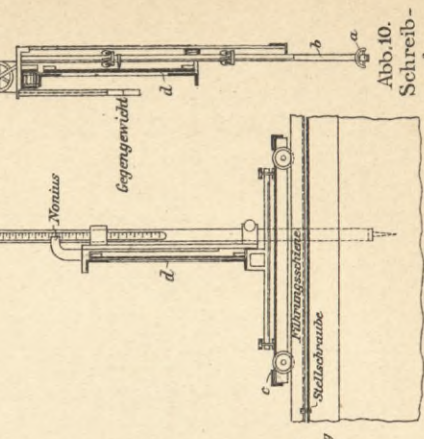


Abb. 9. Nadel. 1:15.

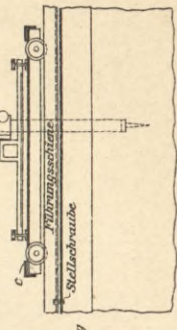


Abb. 10. Schreibwagen. 1:15.

Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin.

Abb. 1 u. 2.
Naturaufnahmen der Weserstrecke
vor und nach der Regulierung
des schlechten Überganges bei Km.304.

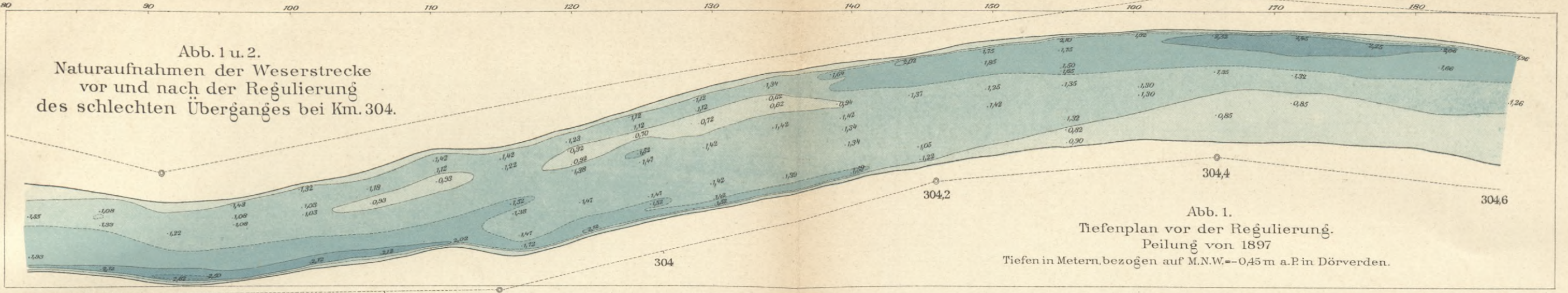


Abb. 1.
Tiefenplan vor der Regulierung.
Peilung von 1897.
Tiefen in Metern, bezogen auf M.N.W. = -0,45 m a. P. in Dörverden.

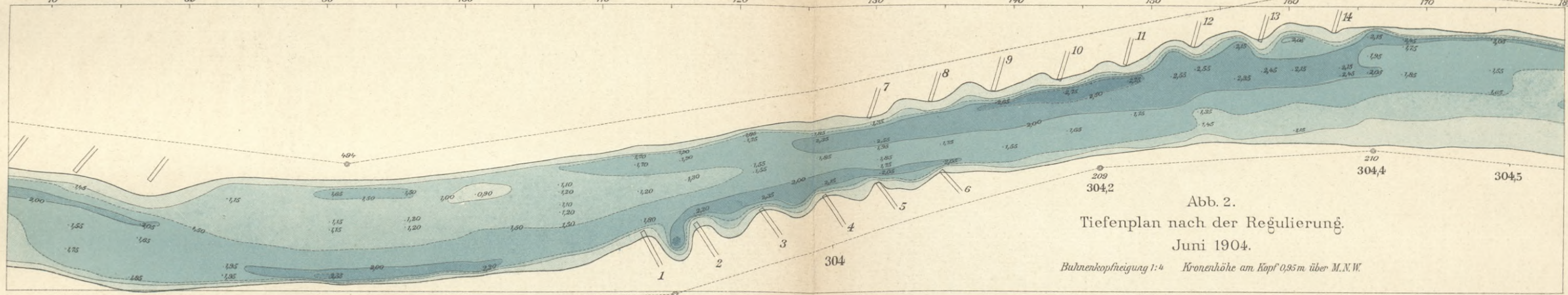


Abb. 2.
Tiefenplan nach der Regulierung.
Juni 1904.
Buhnenkopffigung 1:4 Kronenhöhe am Kopf 0,95 m über M.N.W.

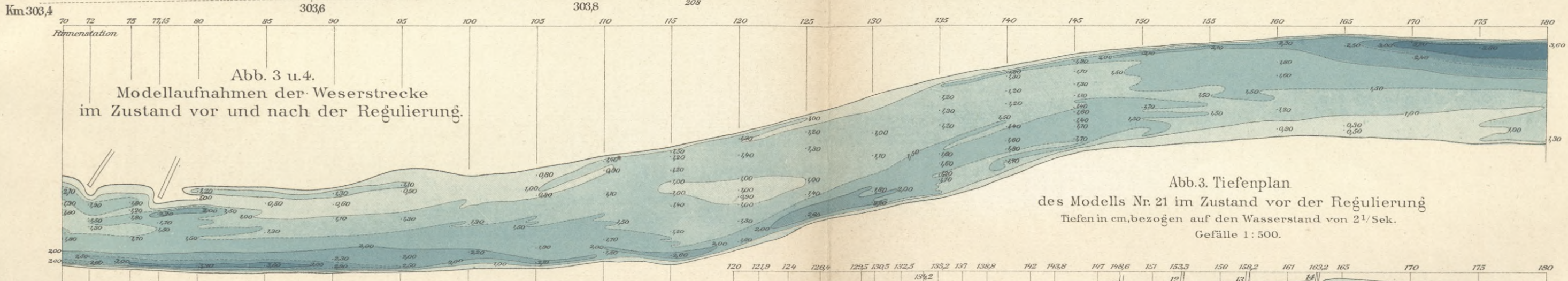


Abb. 3 u. 4.
Modellaufnahmen der Weserstrecke
im Zustand vor und nach der Regulierung.

Abb. 3. Tiefenplan
des Modells Nr. 21 im Zustand vor der Regulierung
Tiefen in cm, bezogen auf den Wasserstand von 2 1/2 Sek.
Gefälle 1:500.

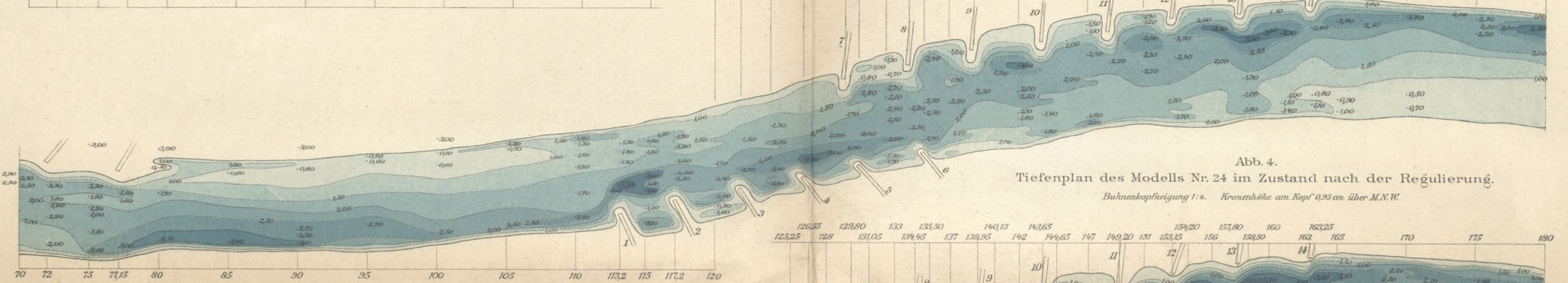


Abb. 4.
Tiefenplan des Modells Nr. 24 im Zustand nach der Regulierung.
Buhnenkopffigung 1:4. Kronenhöhe am Kopf 0,95 cm über M.N.W.

Abb. 5 bis 8.
Versuche zur Verbesserung der Schifffahrtsrinne
durch Verminderung der Spiegelbreite.

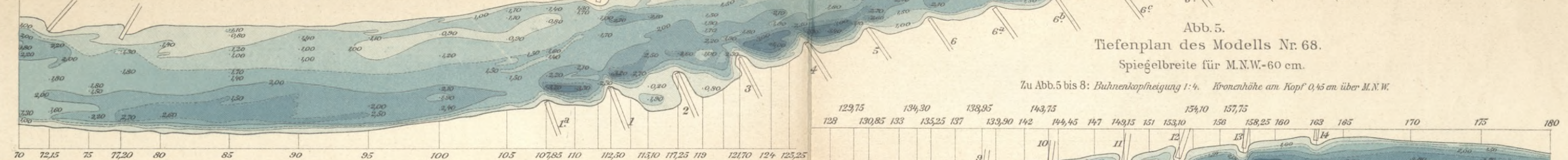


Abb. 5.
Tiefenplan des Modells Nr. 68.
Spiegelbreite für M.N.W. = 60 cm.
Zu Abb. 5 bis 8: Buhnenkopffigung 1:4. Kronenhöhe am Kopf 0,45 cm über M.N.W.

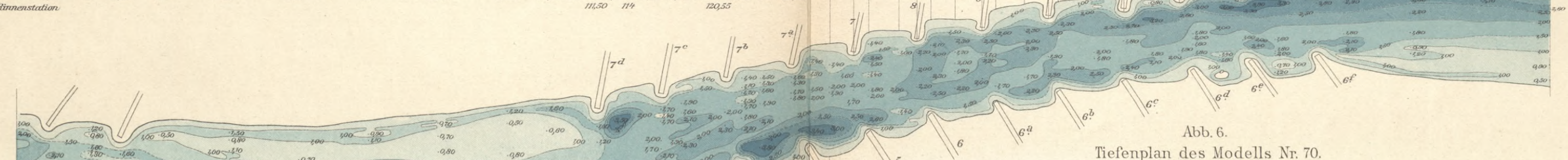


Abb. 6.
Tiefenplan des Modells Nr. 70.
Spiegelbreite für M.N.W. = 55 cm.

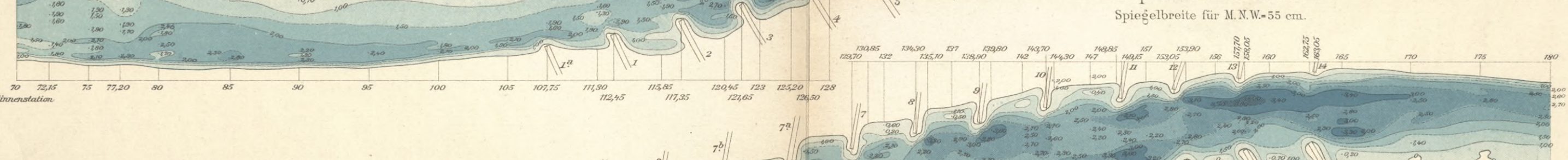


Abb. 7.
Tiefenplan des Modells Nr. 72.
Spiegelbreite für M.N.W. = 50 cm.

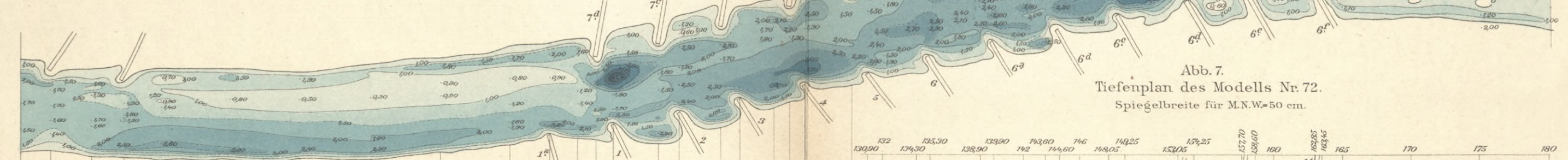


Abb. 8.
Tiefenplan des Modells Nr. 74.
Wechselnde Spiegelbreite für M.N.W. = 62-55-60 cm.





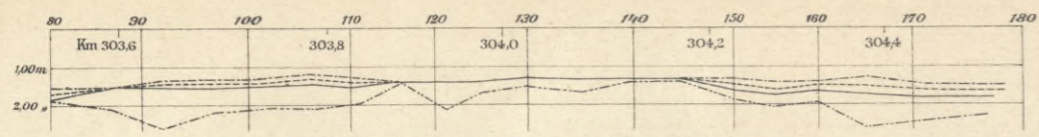


Abb. 1. Fahrwasserplan der unregulierten Weser.
 Tiefen bezogen auf M.N.W. (1897)

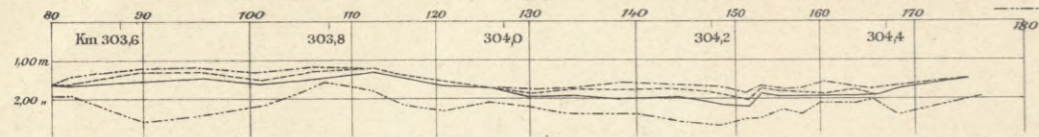


Abb. 2. Fahrwasserplan der regulierten Weser.
 Tiefen bezogen auf M.N.W. (1904)

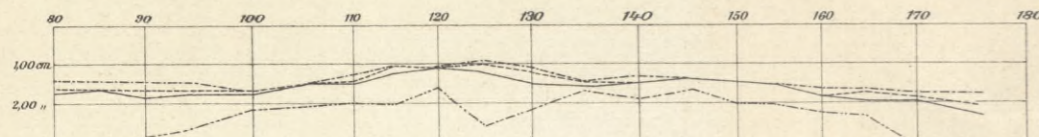


Abb. 3. Fahrwasserplan für Versuch 21.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek.

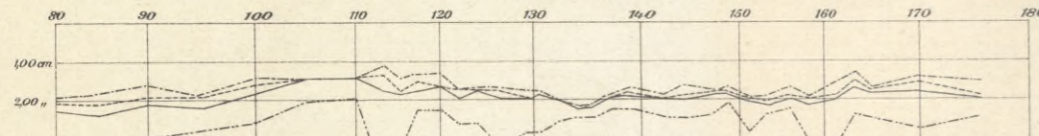


Abb. 4. Fahrwasserplan für Versuch 24.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek.

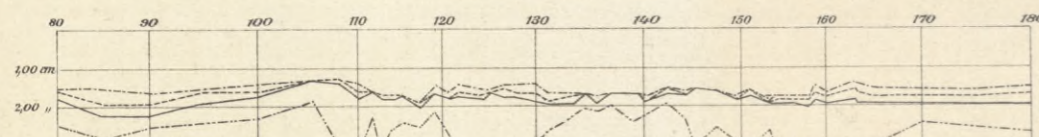


Abb. 5. Fahrwasserplan für Versuch 68.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek. Spiegelbreite für M.N.W. = 60 cm

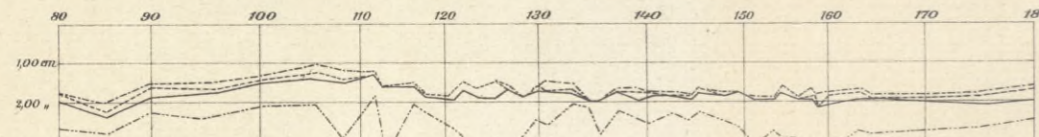


Abb. 6. Fahrwasserplan für Versuch 70.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek. Spiegelbreite für M.N.W. = 55 cm

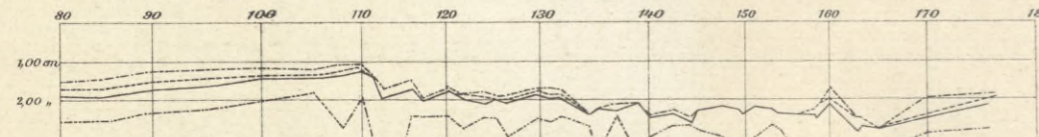


Abb. 7. Fahrwasserplan für Versuch 72.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek. Spiegelbreite für M.N.W. = 50 cm

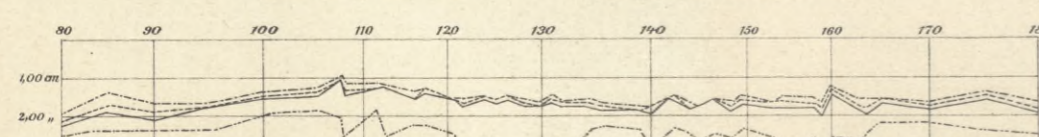


Abb. 8. Fahrwasserplan für Versuch 74.
 Tiefen bezogen auf 2 U/Sek. Spiegelbreite für M.N.W. = 55-62,5 cm

Längen 1:2000 der Natur
 Tiefen 1:200 entsprechend
 Längen 1:80 des Modells
 Tiefen 1:2
 Spiegelgefälle Km 303,5 bis 304,5 = 1:62,5
 Fahrwasserbreite in 30 cm Breite
 " " " 25 " "
 " " " 20 " "
 Größttiefe " 0 " "

Abflußmengen:
 (Natur) 25 csm/Sek.
 (Modell) 20 " "
 1000 " "

Für Abb. 3 bis 8.
 Längen 1:80 des Modells
 Tiefen 1:2
 Spiegelgefälle 1:500
 Fahrwasserbreite in 30 cm Breite
 " " " 25 " "
 " " " 20 " "
 Größttiefe " 0 " "

Für Abb. 5 bis 8.
 Bahnenkopfeigung 1:4
 Bahnenrücken 0,95 cm über M.N.W.
 Spiegelbreite für M.N.W. = 52,50 cm

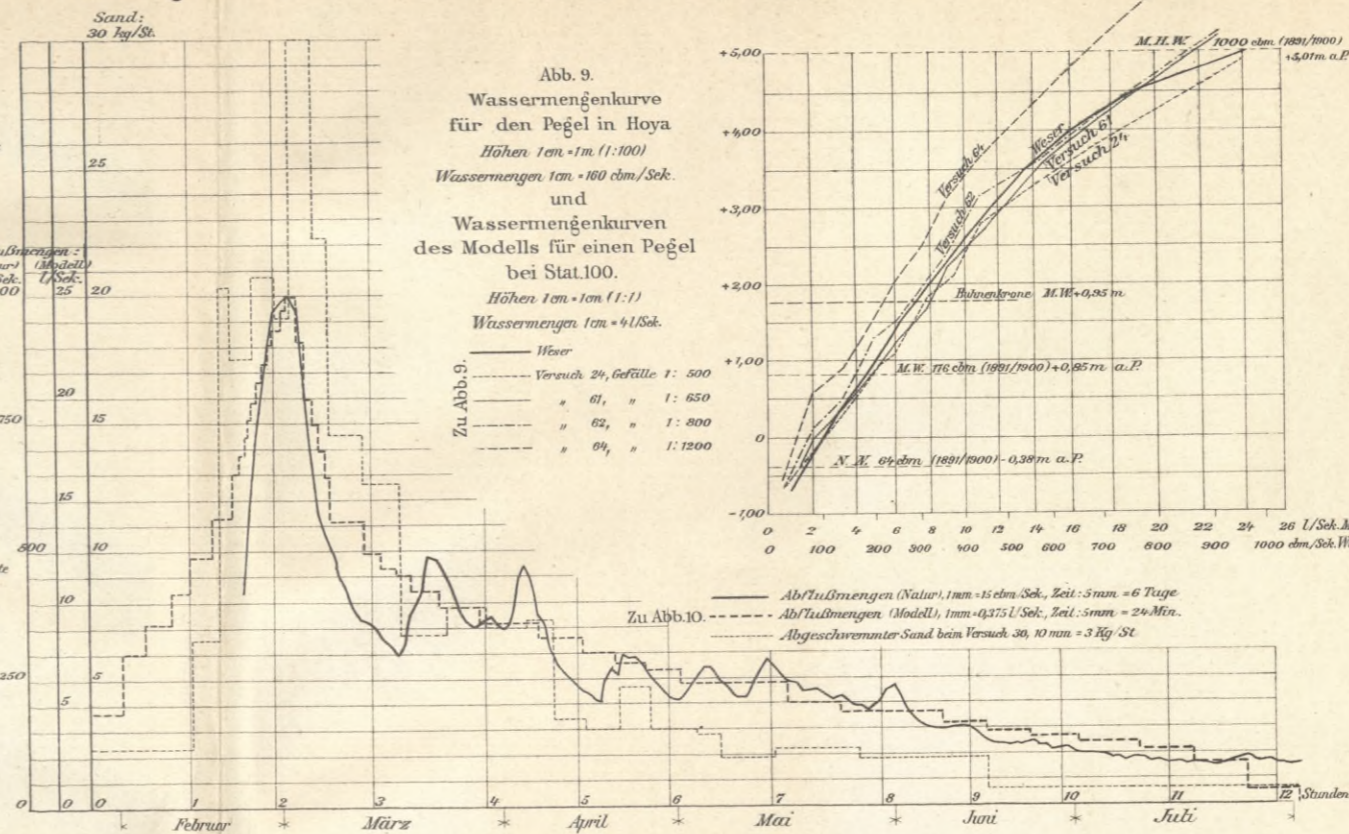


Abb. 9. Wassermengenkurve für den Pegel in Hoya
 Höhen 1cm = 1m (1:100)
 Wassermengen 1cm = 100 csm/Sek.
 und Wassermengenkurven des Modells für einen Pegel bei Stat. 100.
 Höhen 1cm = 1m (1:1)
 Wassermengen 1cm = 4 L/Sek.

Abb. 10. Abflußmengen- und Sandführungskurven.

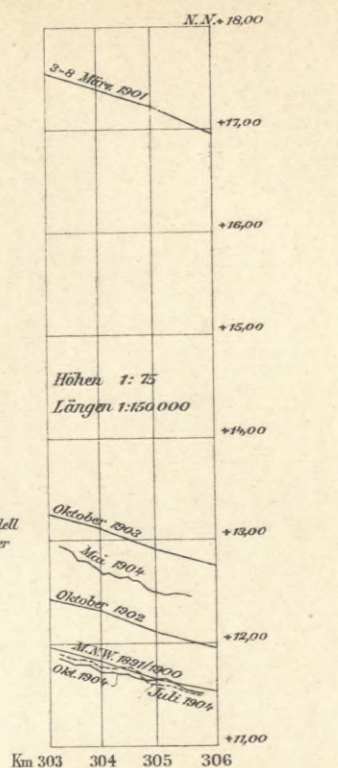


Abb. 11. Spiegelgefälle der Weser von Km 303 bis 306.

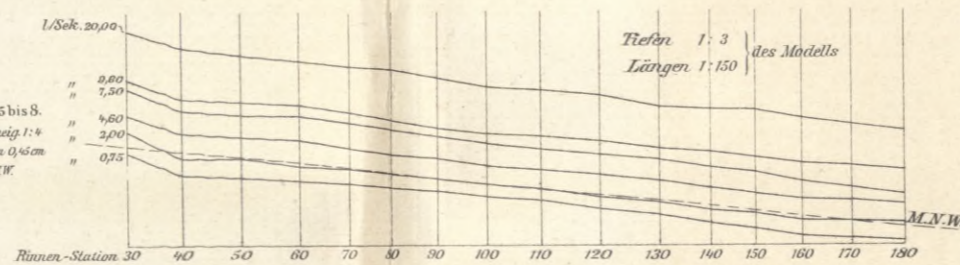


Abb. 12. Spiegelgefälle für Versuch 21.

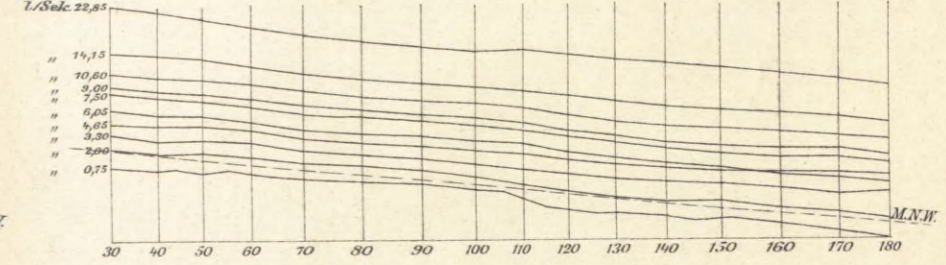


Abb. 13. Spiegelgefälle für Versuch 24.

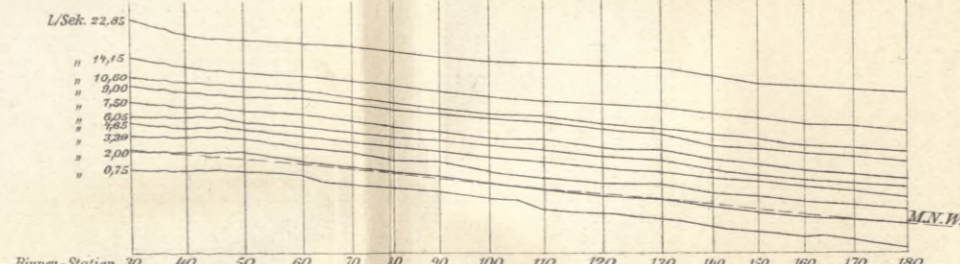


Abb. 14. Spiegelgefälle für Versuch 68.

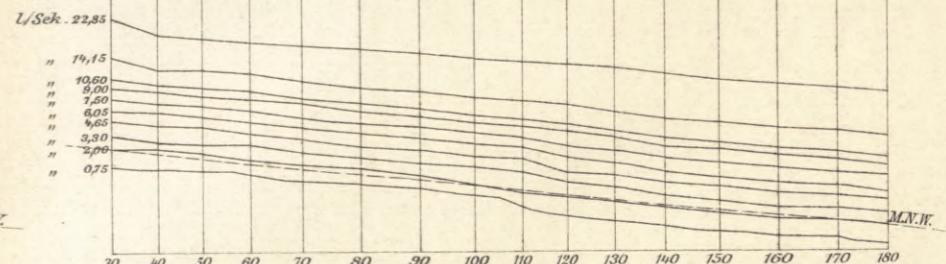


Abb. 15. Spiegelgefälle für Versuch 70.



Abb. 16. Spiegelgefälle für Versuch 72.

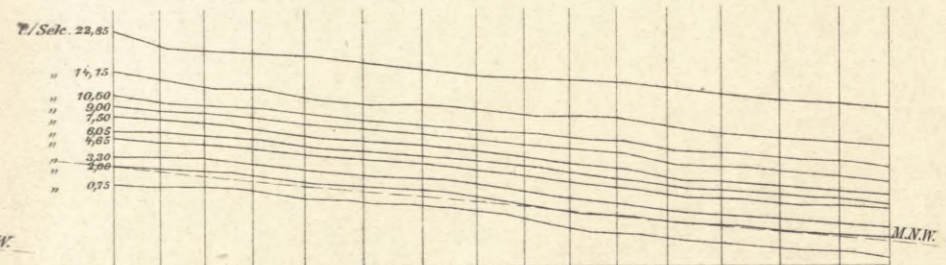


Abb. 17. Spiegelgefälle für Versuch 74.



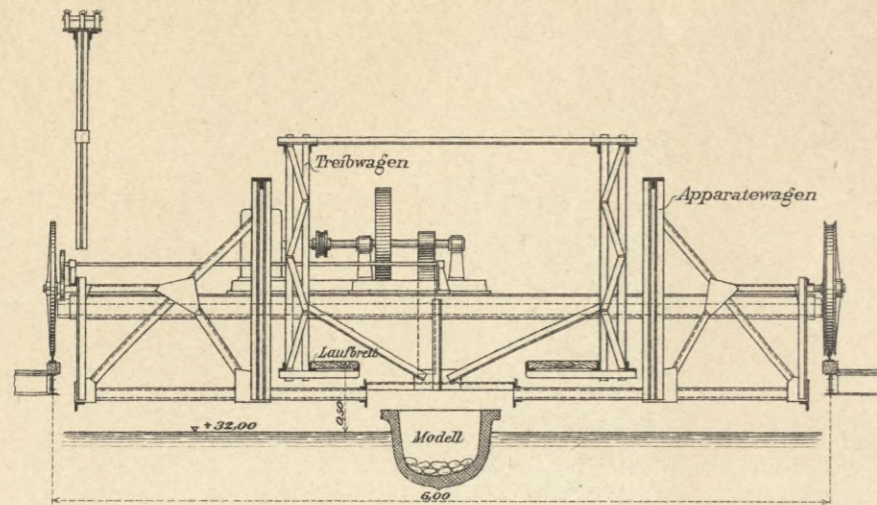


Abb. 3. Schnitt A-B.

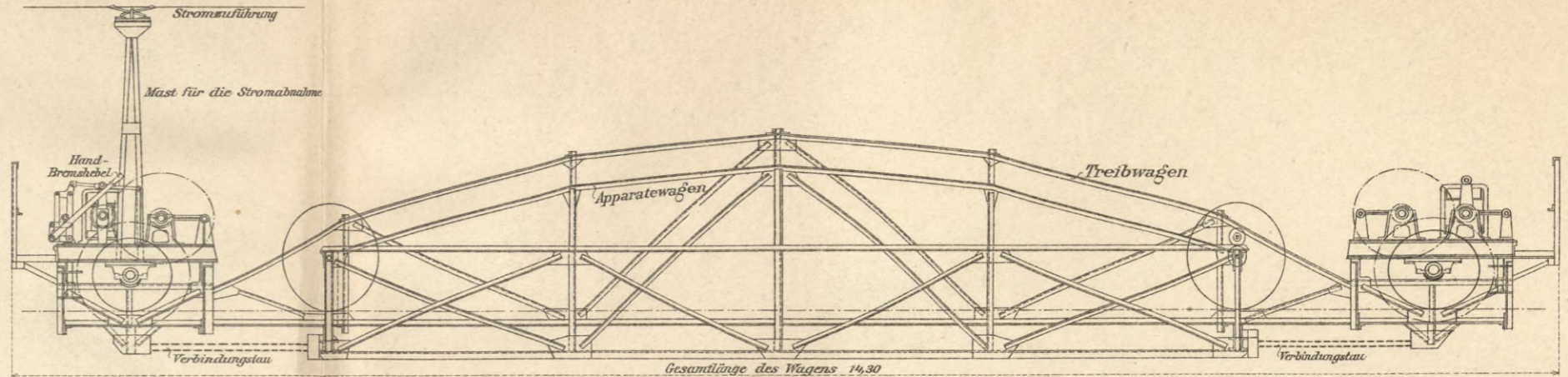


Abb. 1. Seitenansicht.

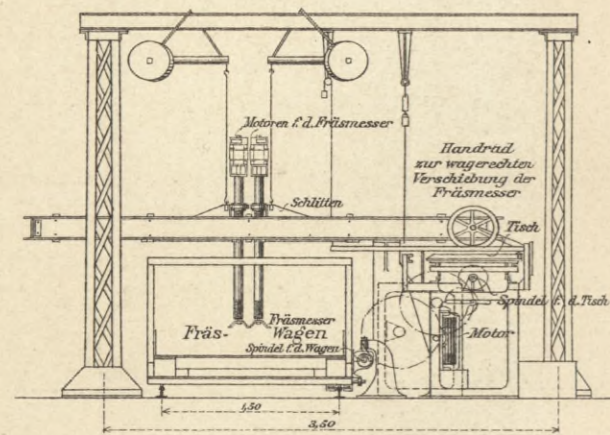
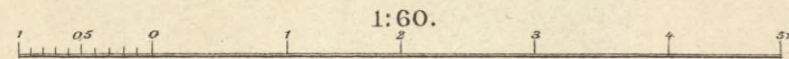


Abb. 5. Queransicht.



1:60.

Abb. 1-3.
Treib- und
Apparatwagen.

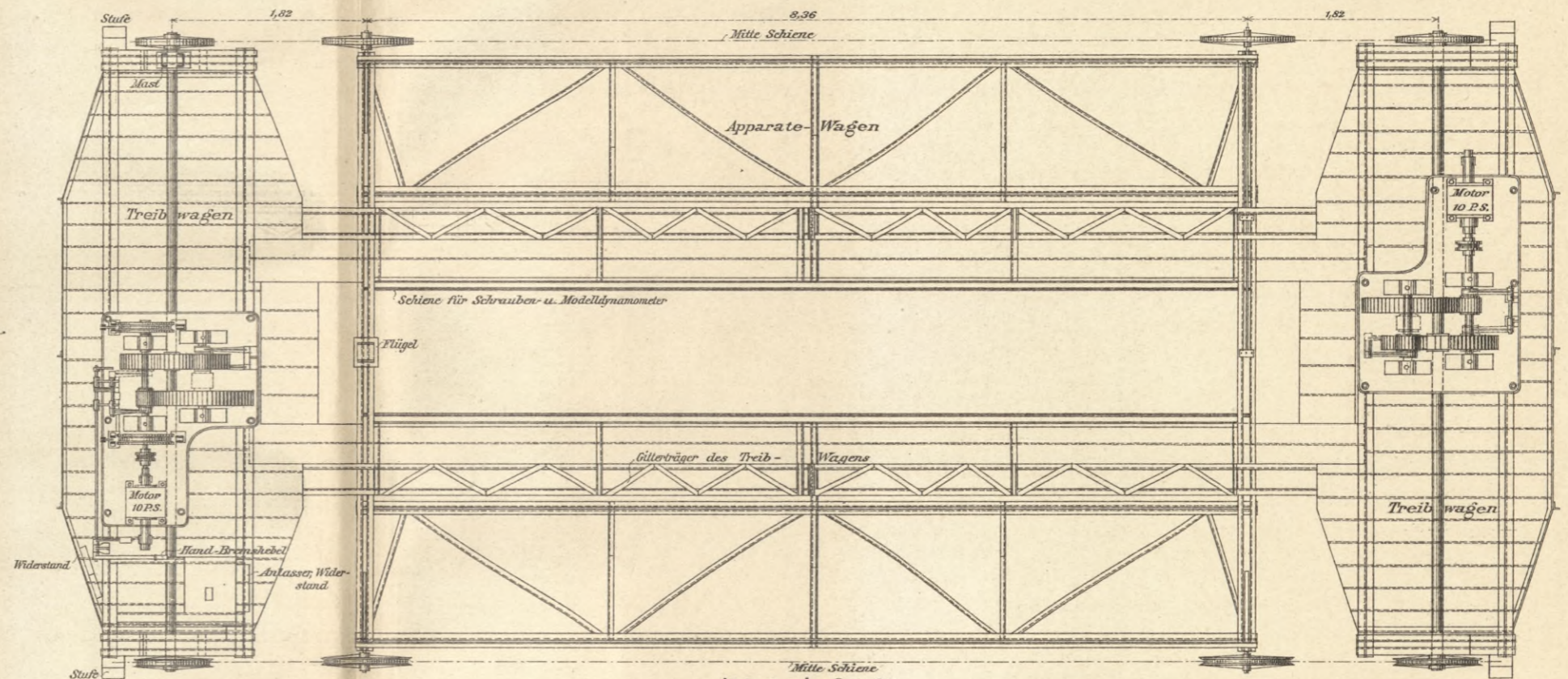


Abb. 2. Aufsicht.

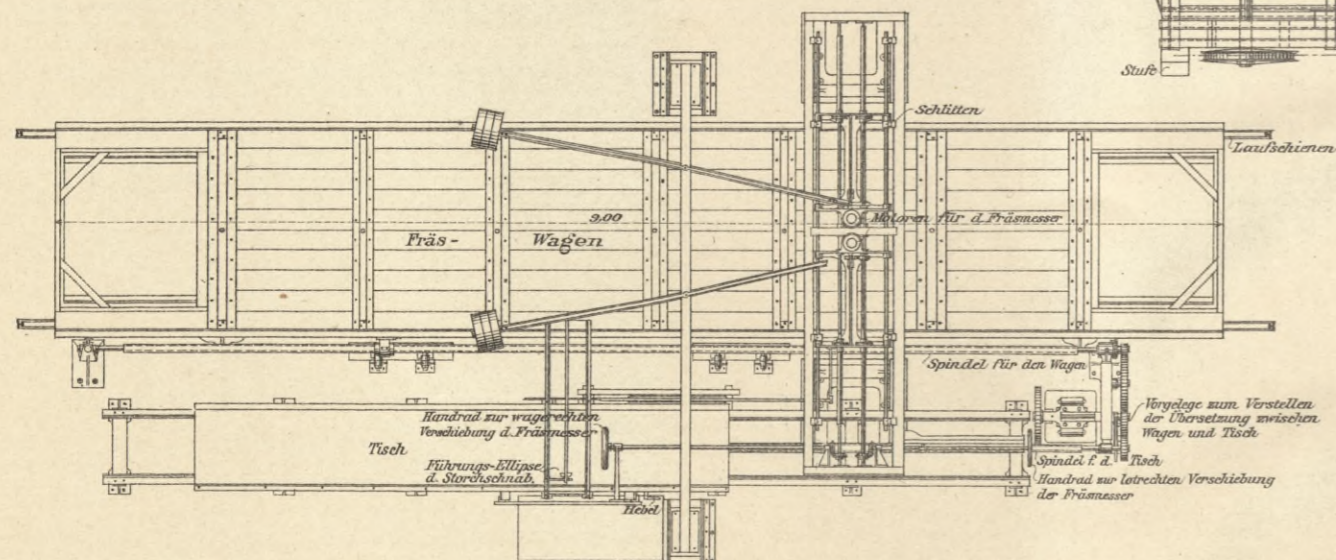


Abb. 6. Grundriß.

Abb. 4-6.
Modellschneidemaschine.

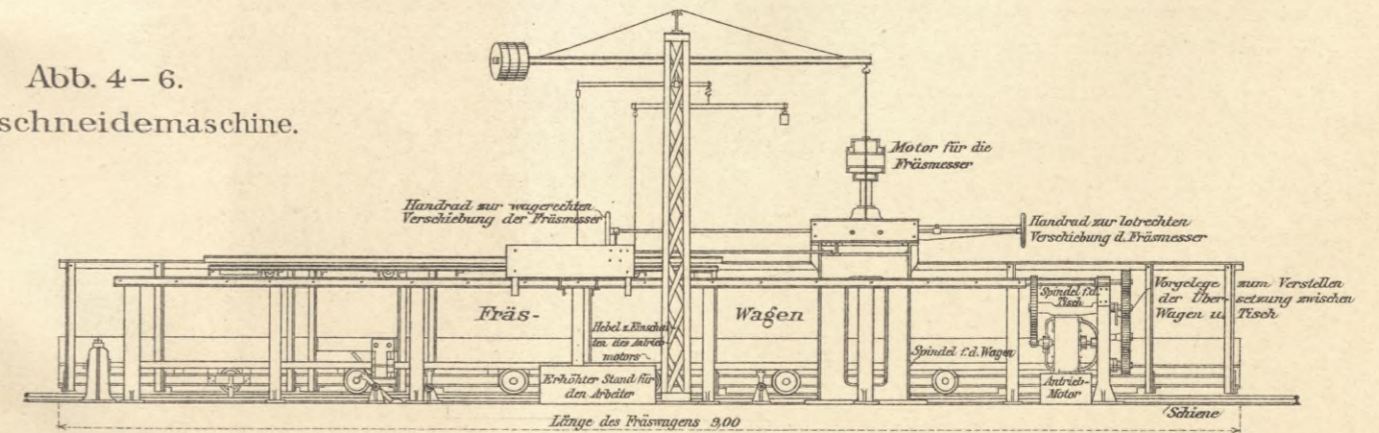


Abb. 4. Längensansicht.

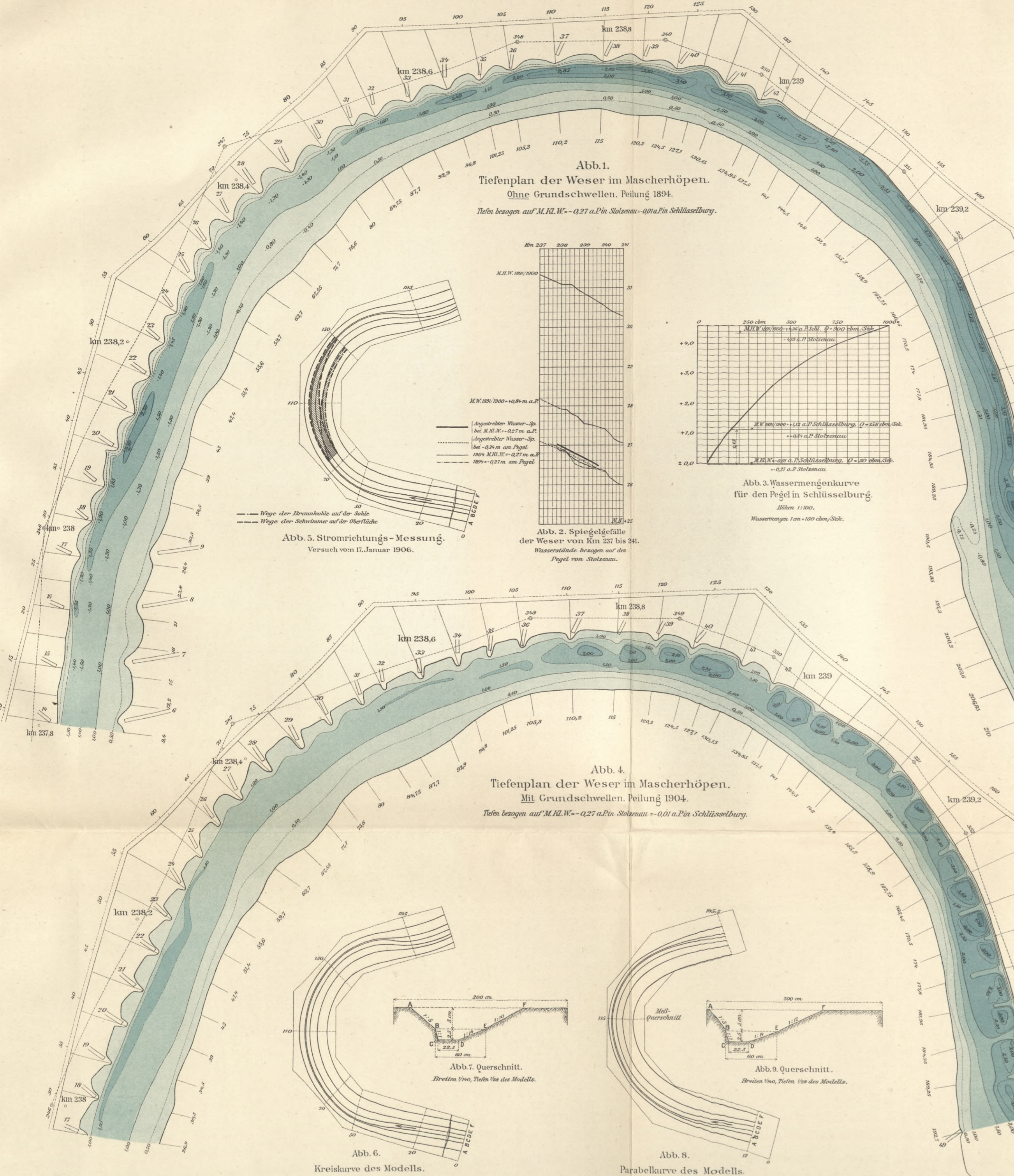


Abb.10-15. Geschwindigkeitsmessung vom 20. Februar 1906. Weserparabelversuch mit Grundswellen

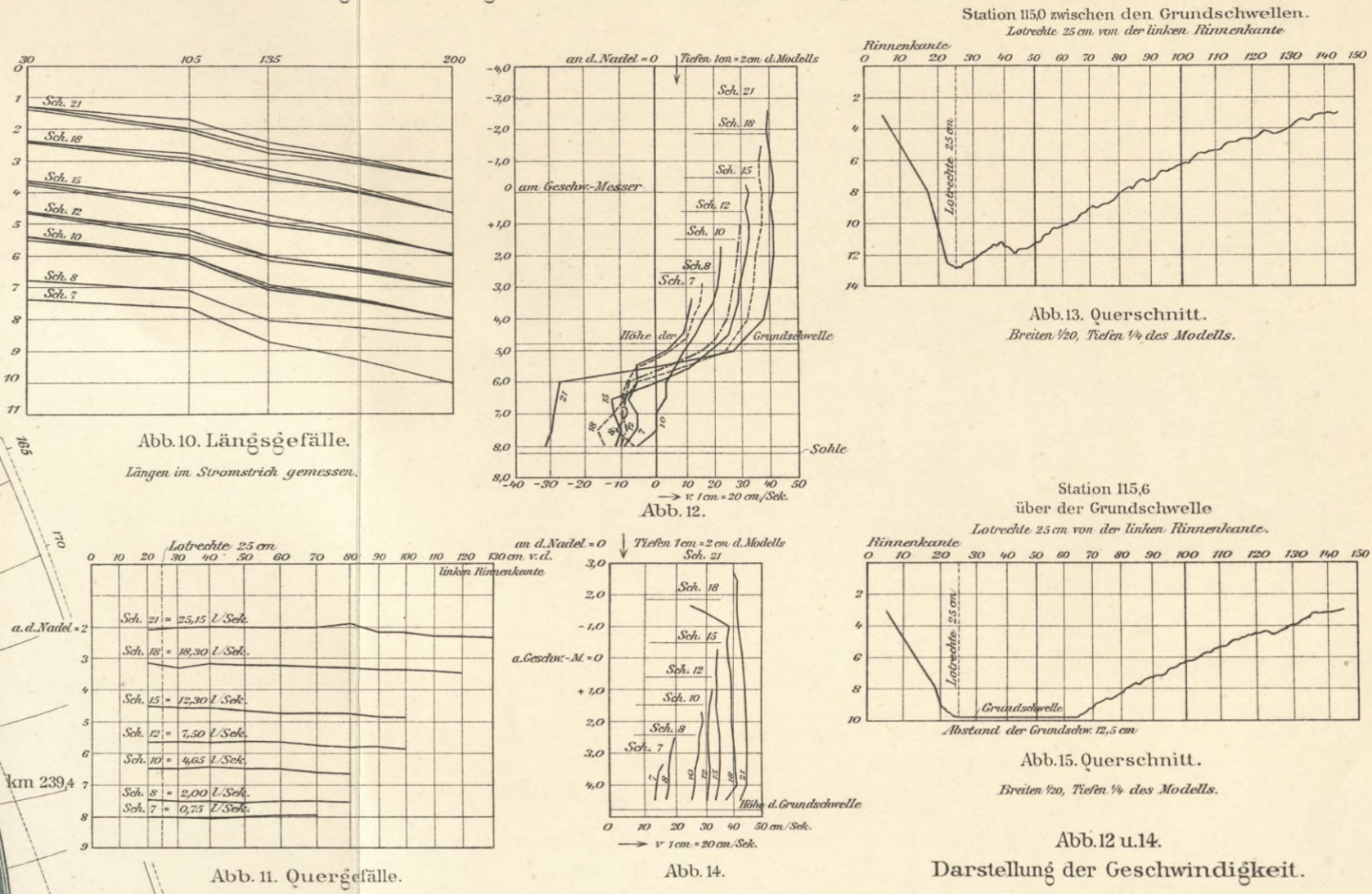
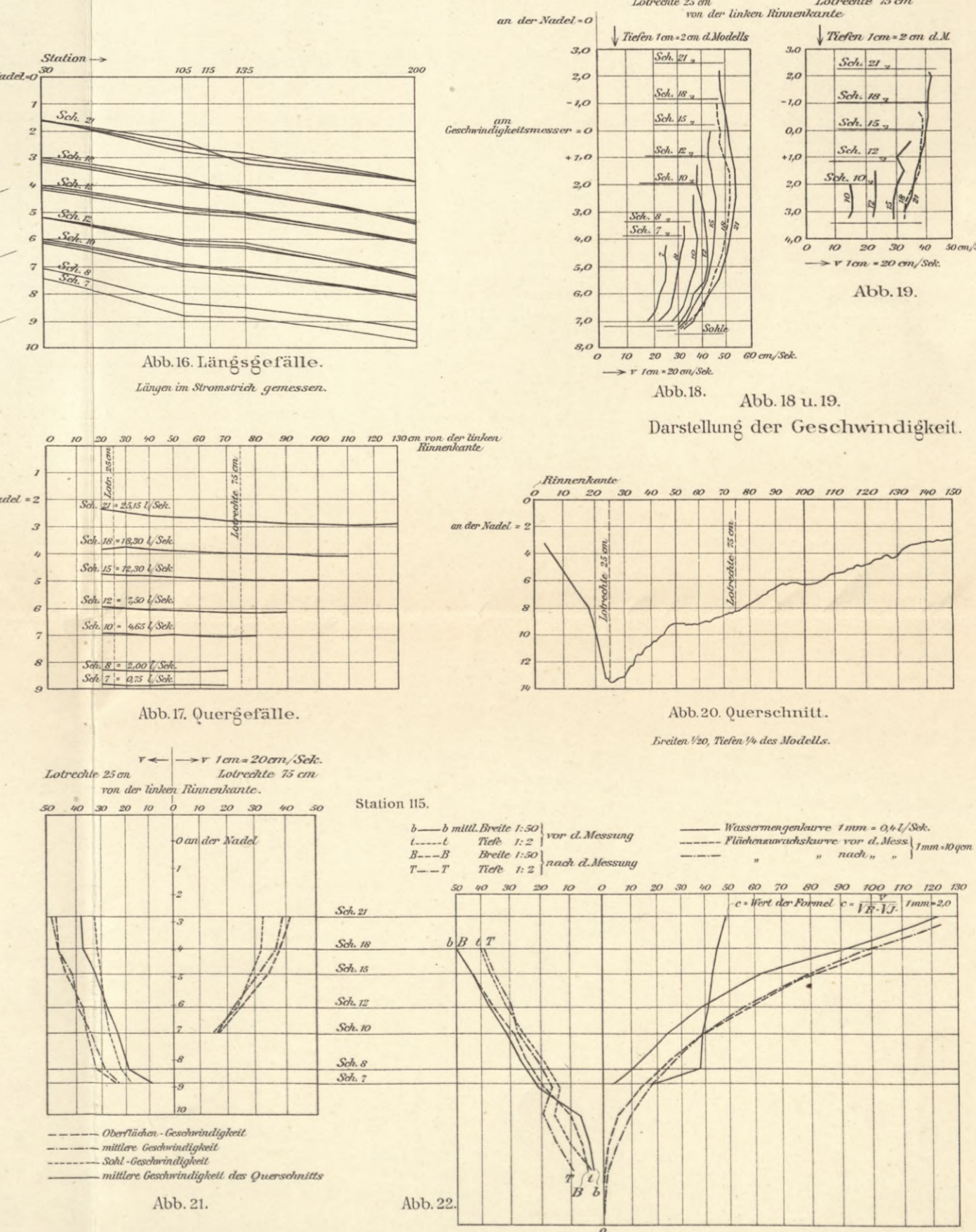


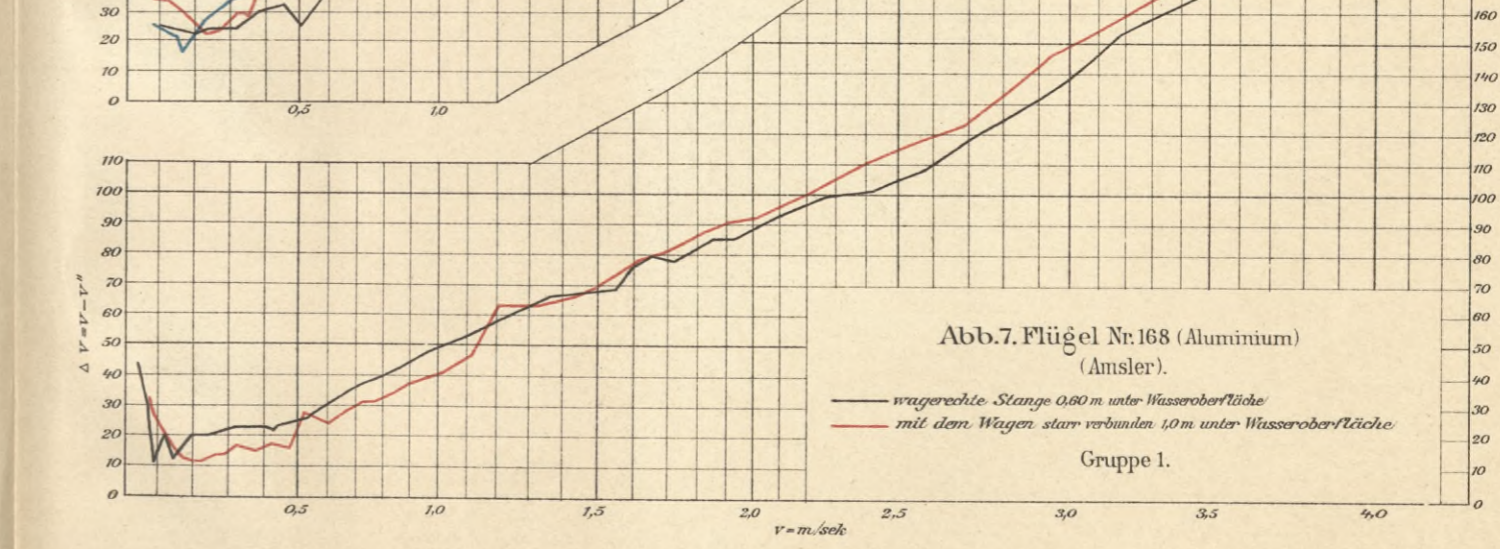
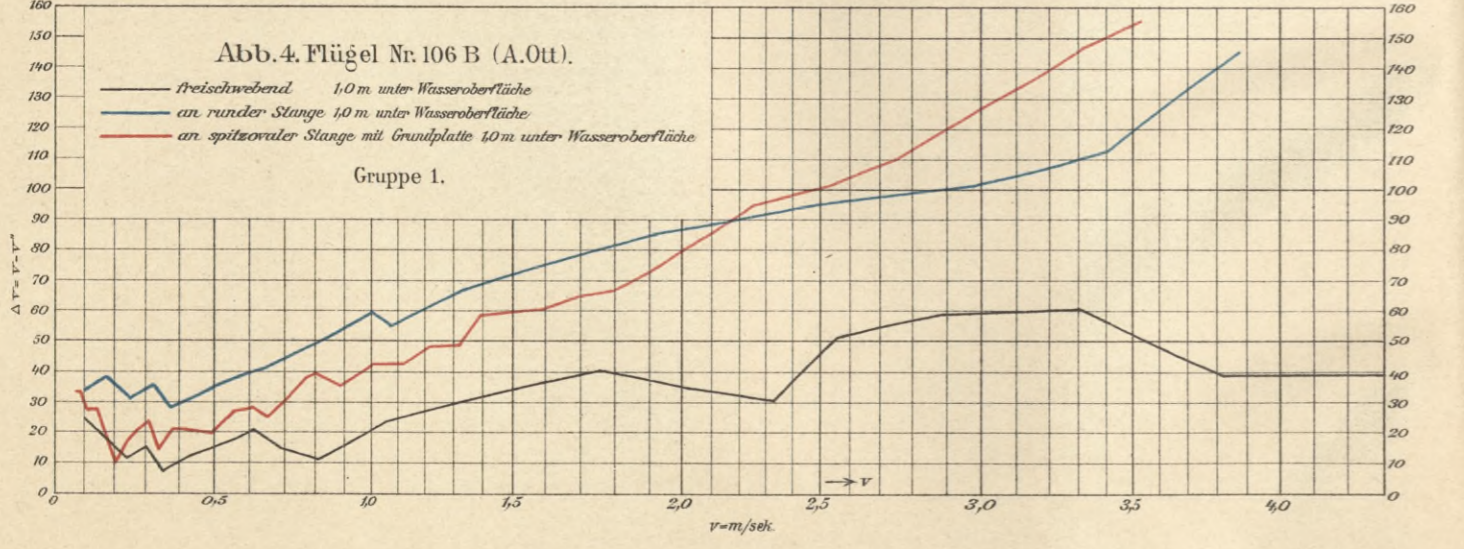
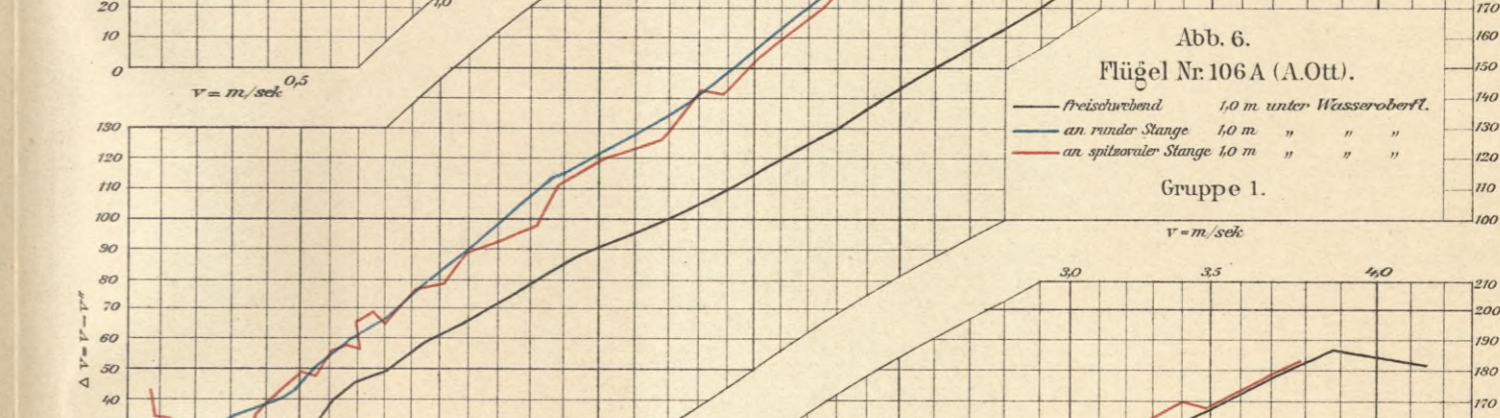
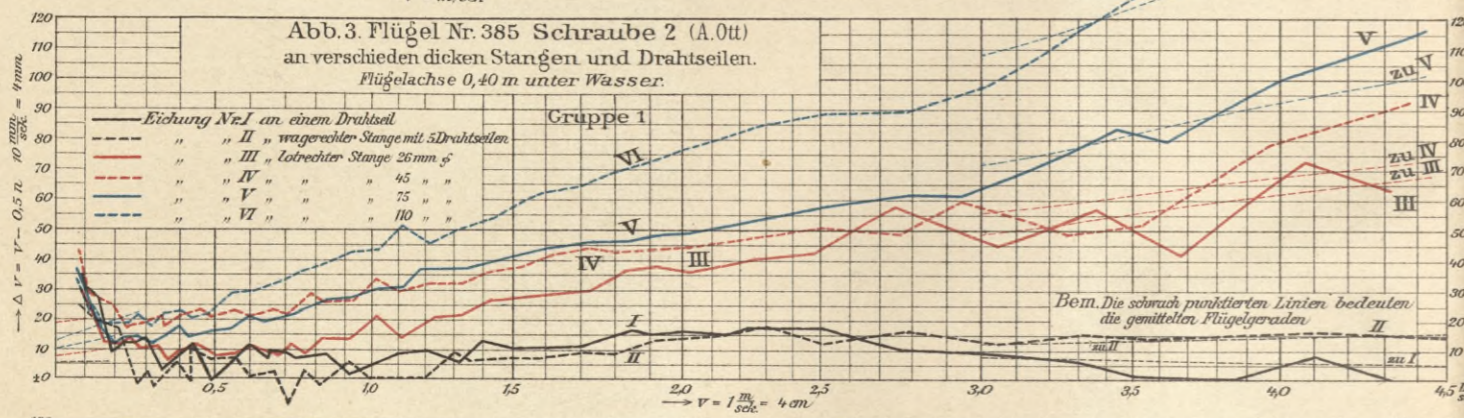
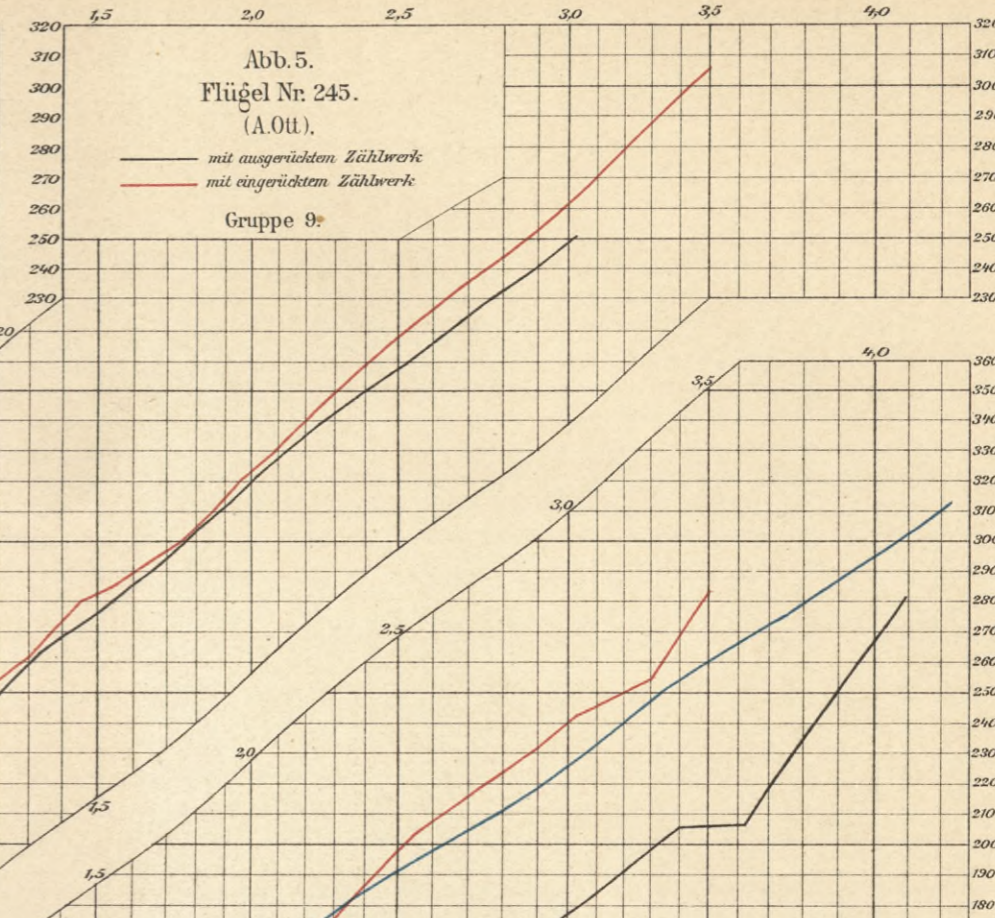
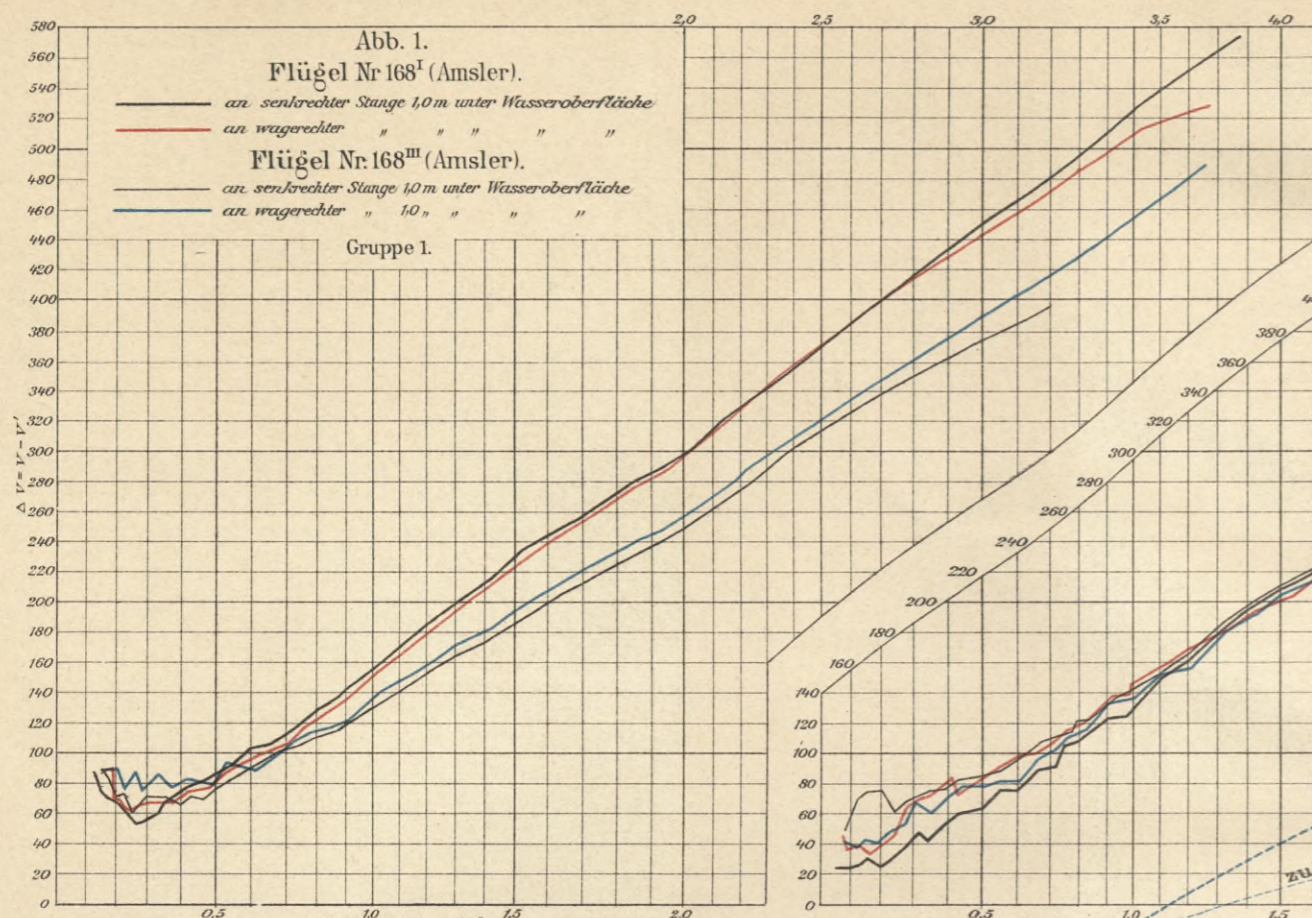
Abb.16-22. Geschwindigkeitsmessung vom 17 u. 19. Februar 1906. Weserparabelversuch ohne Grundswellen.



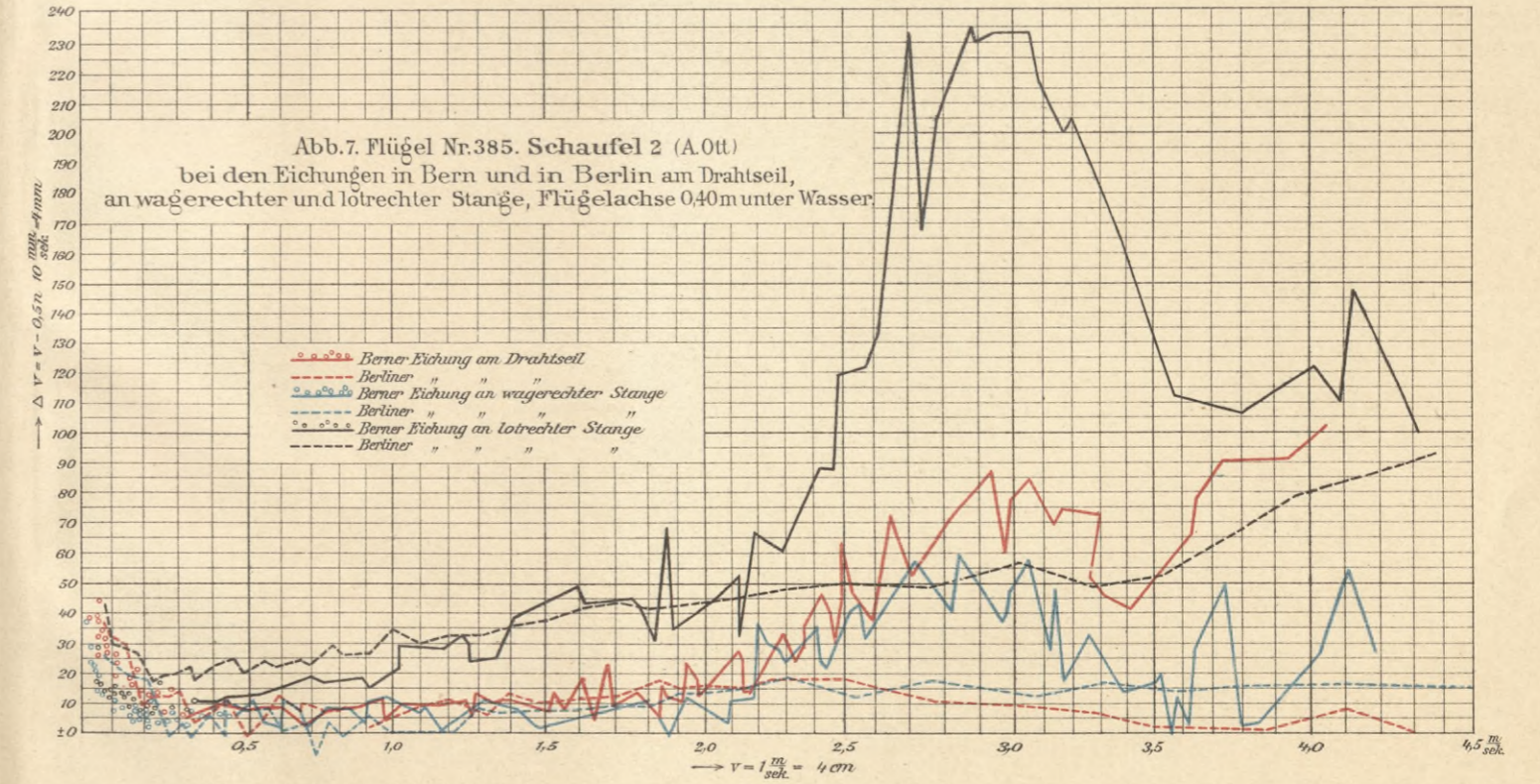
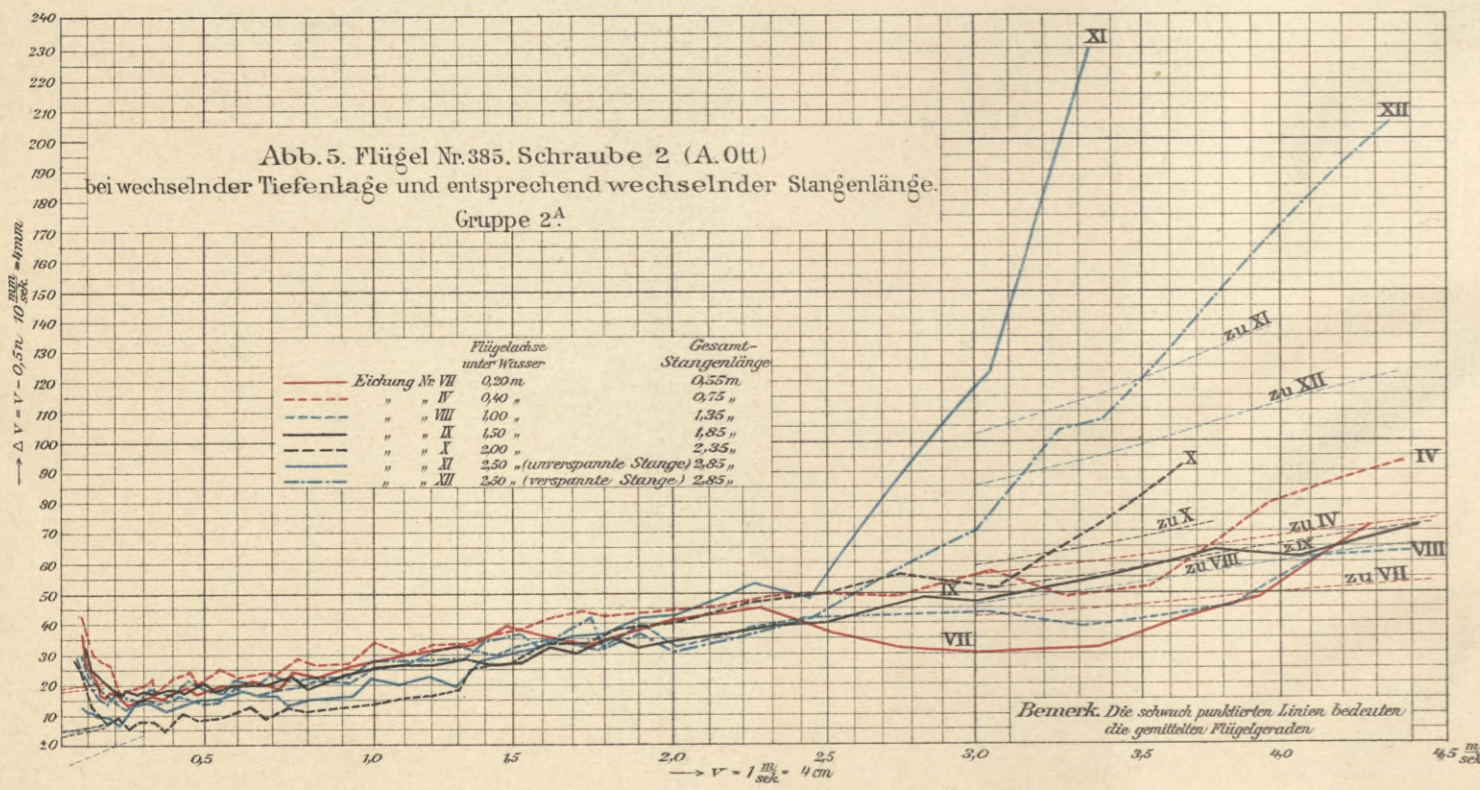
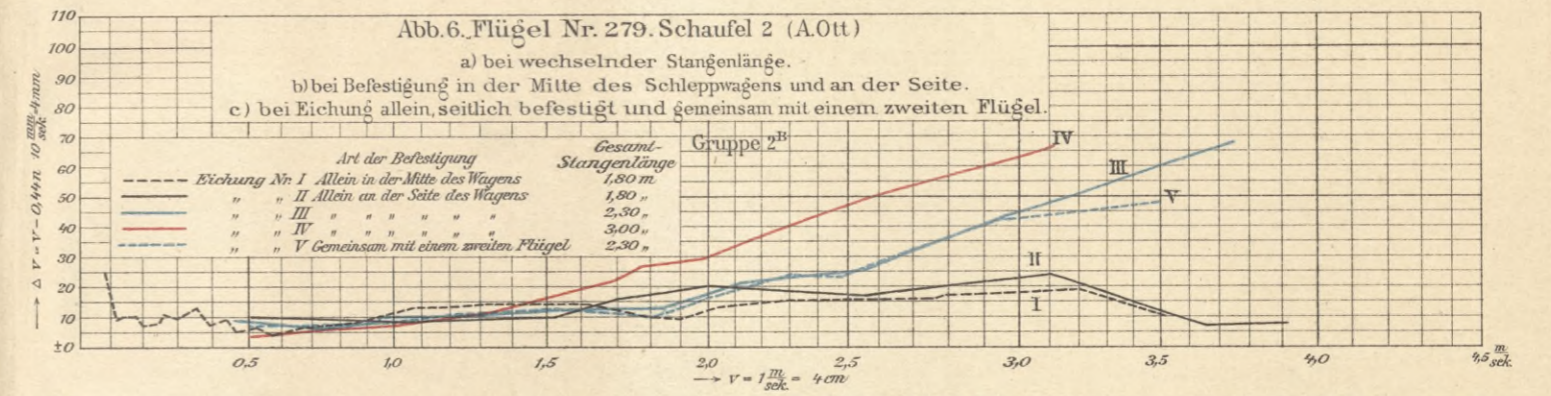
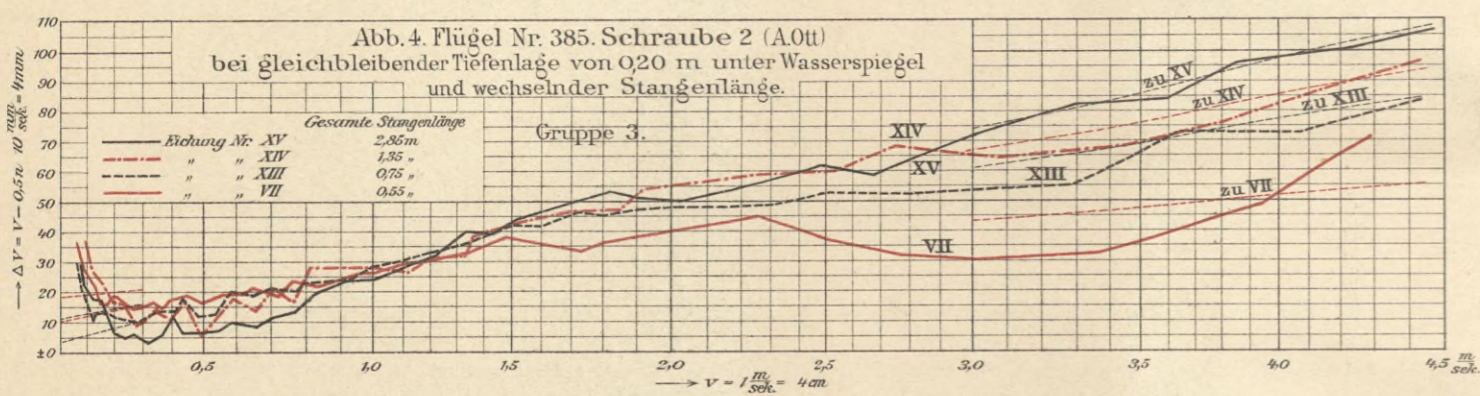
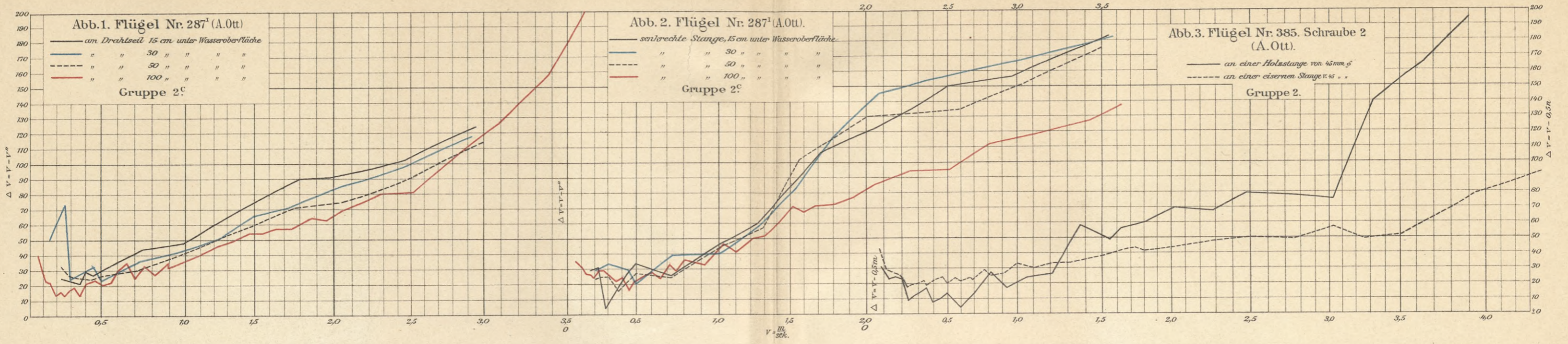




Versuche mit Stromflügeln. Umlaufwerte.

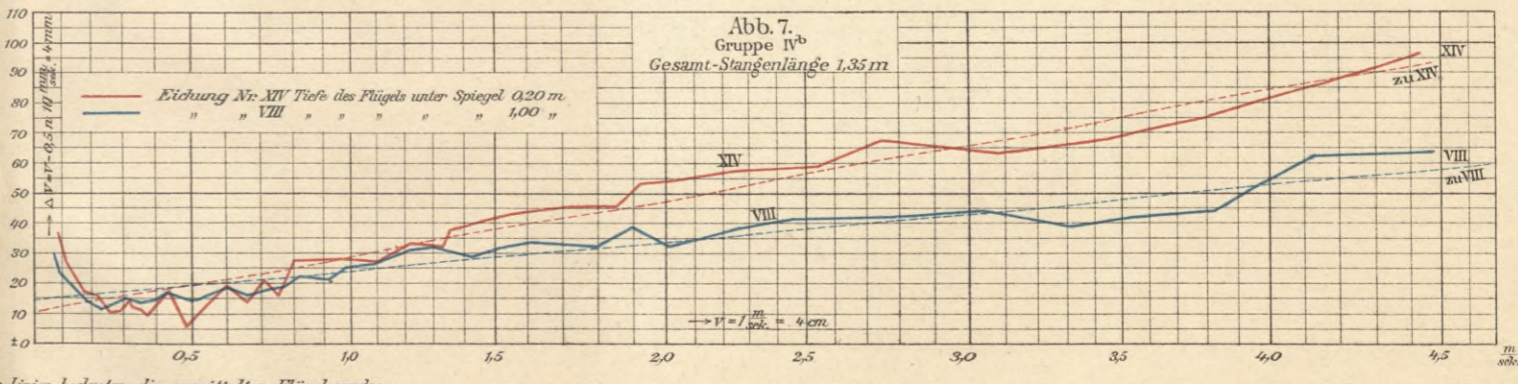
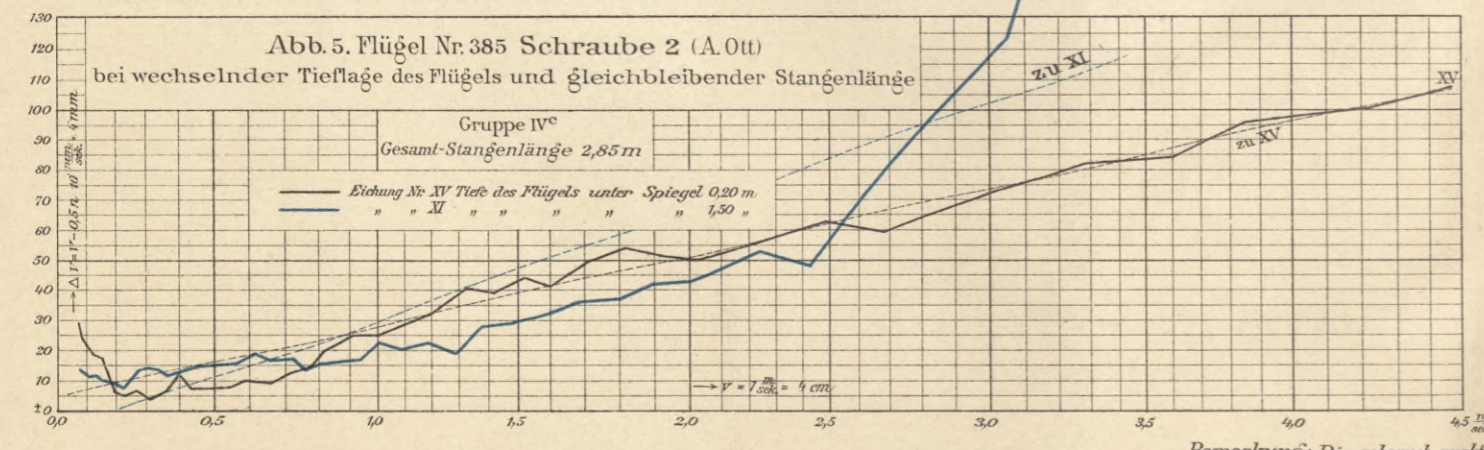
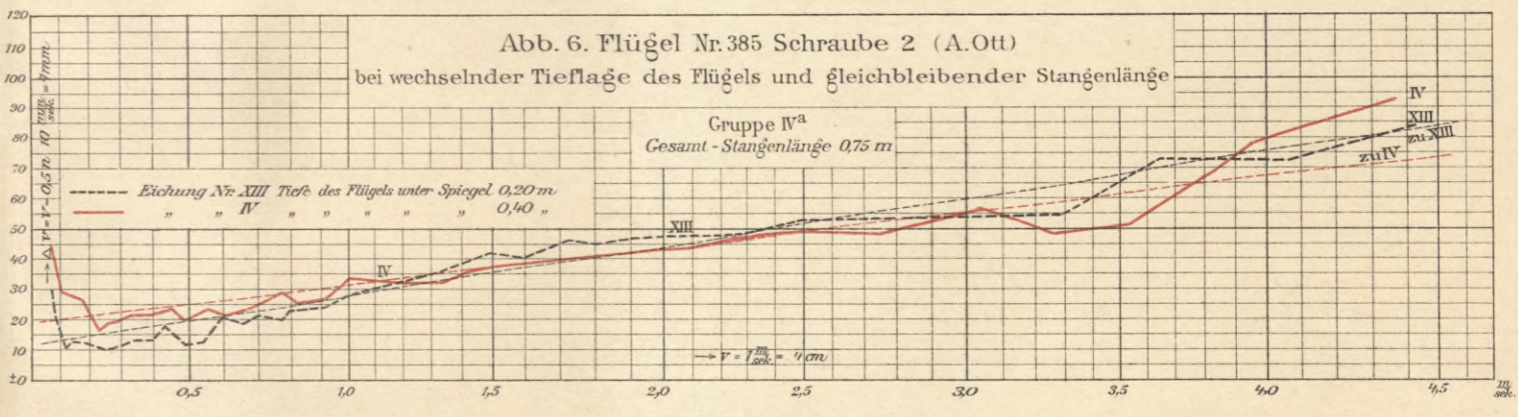
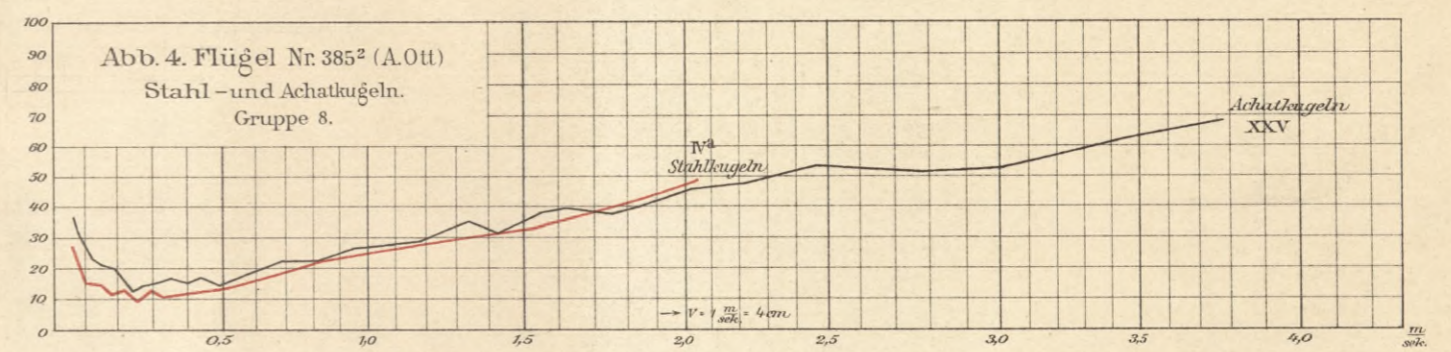
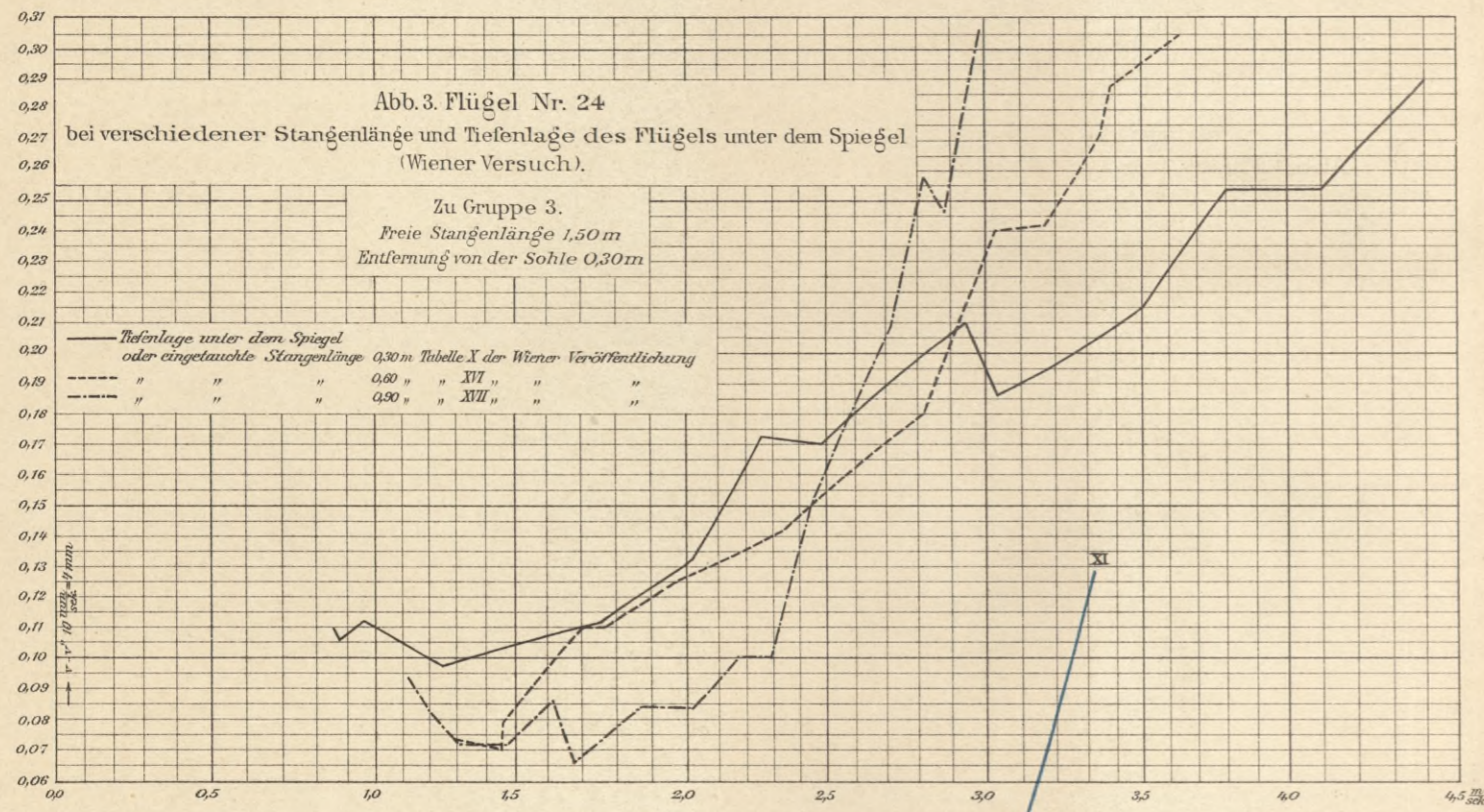
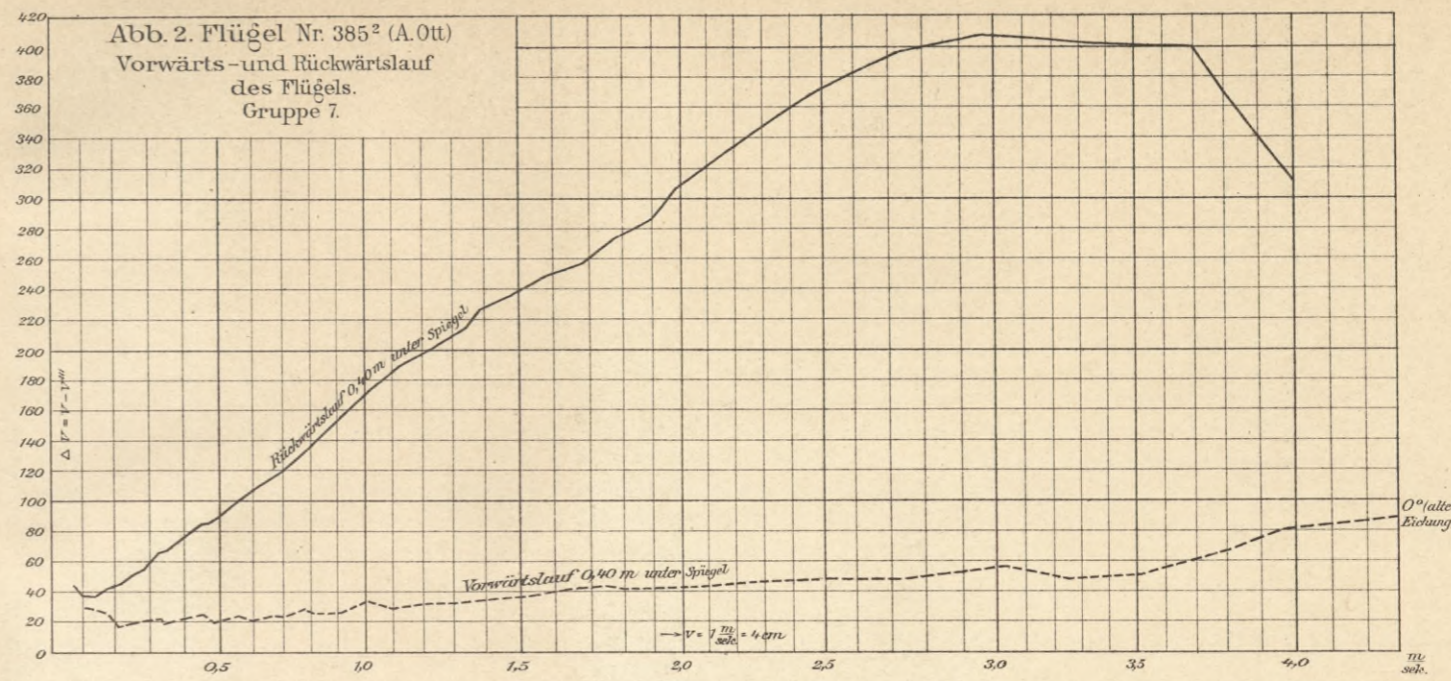
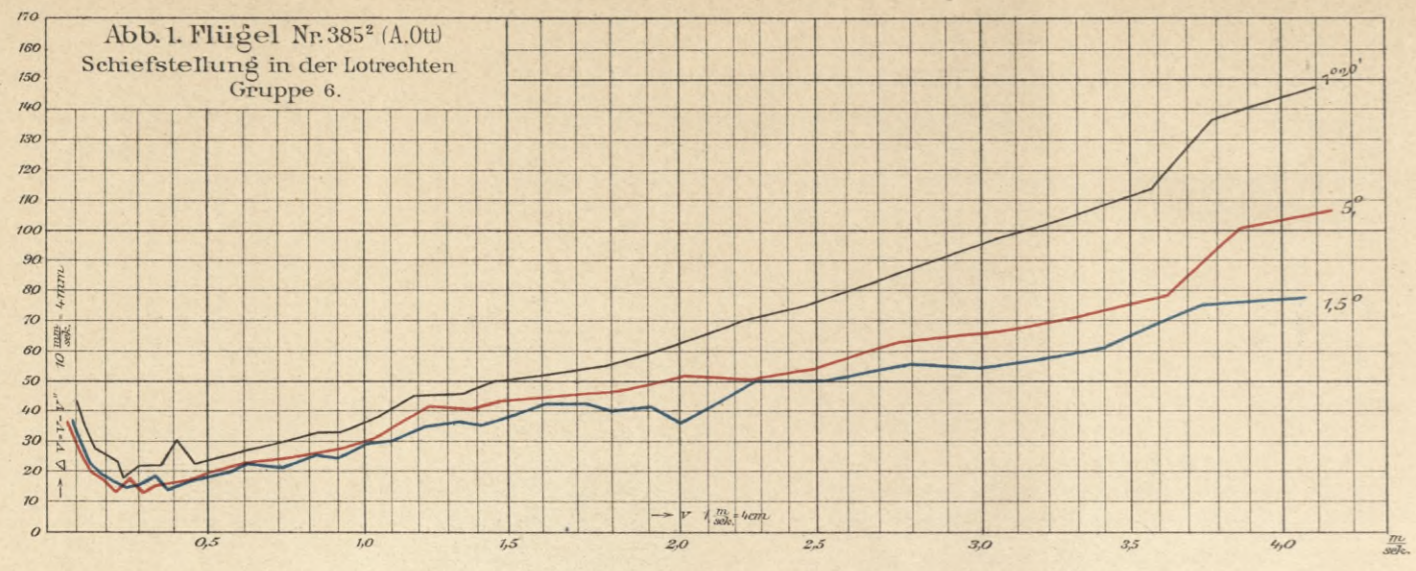








Versuche mit Stromflügeln. Umlaufwerte.



Bemerkung: Die schwach punktierten Linien bedeuten die gemittelten Flügelgeraden.





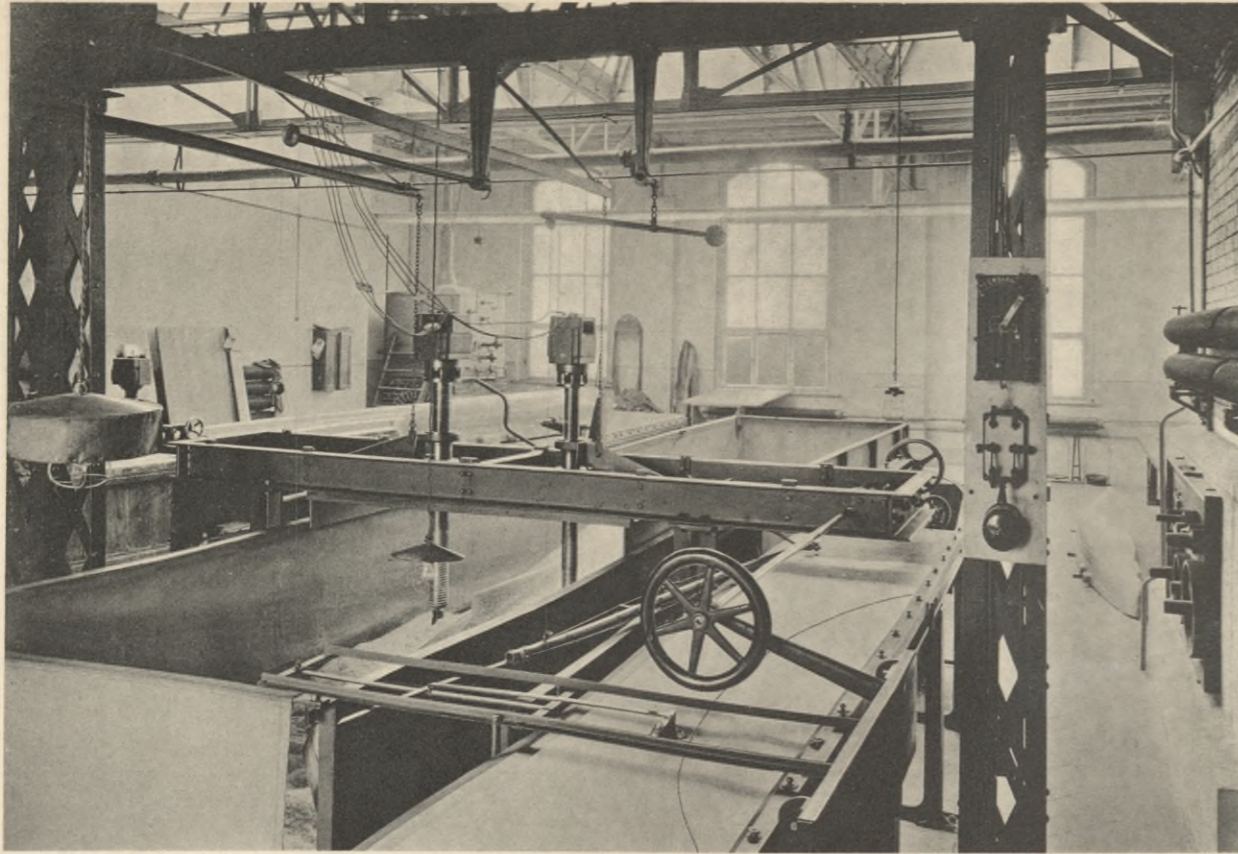


Abb. 1. Modellschneidemaschine.

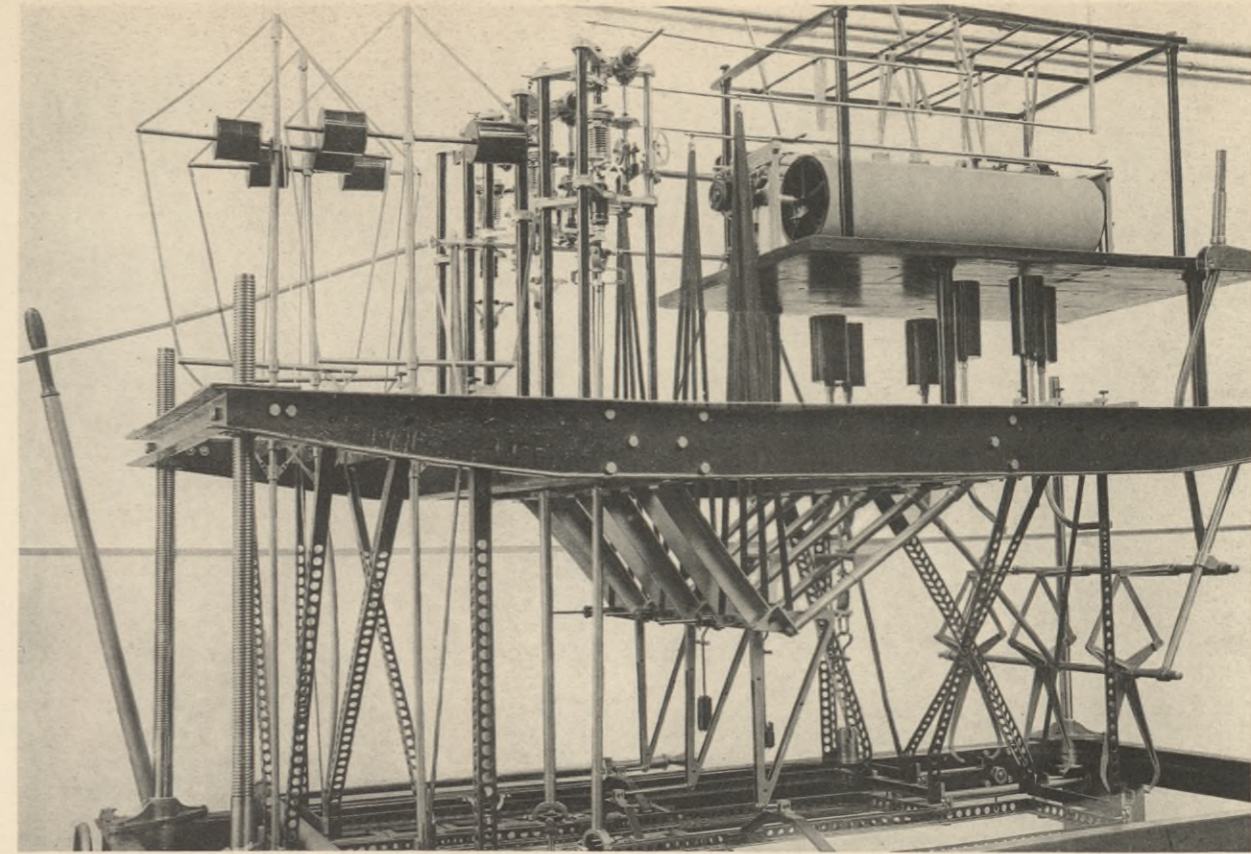


Abb. 2. Schraubendynamometer.

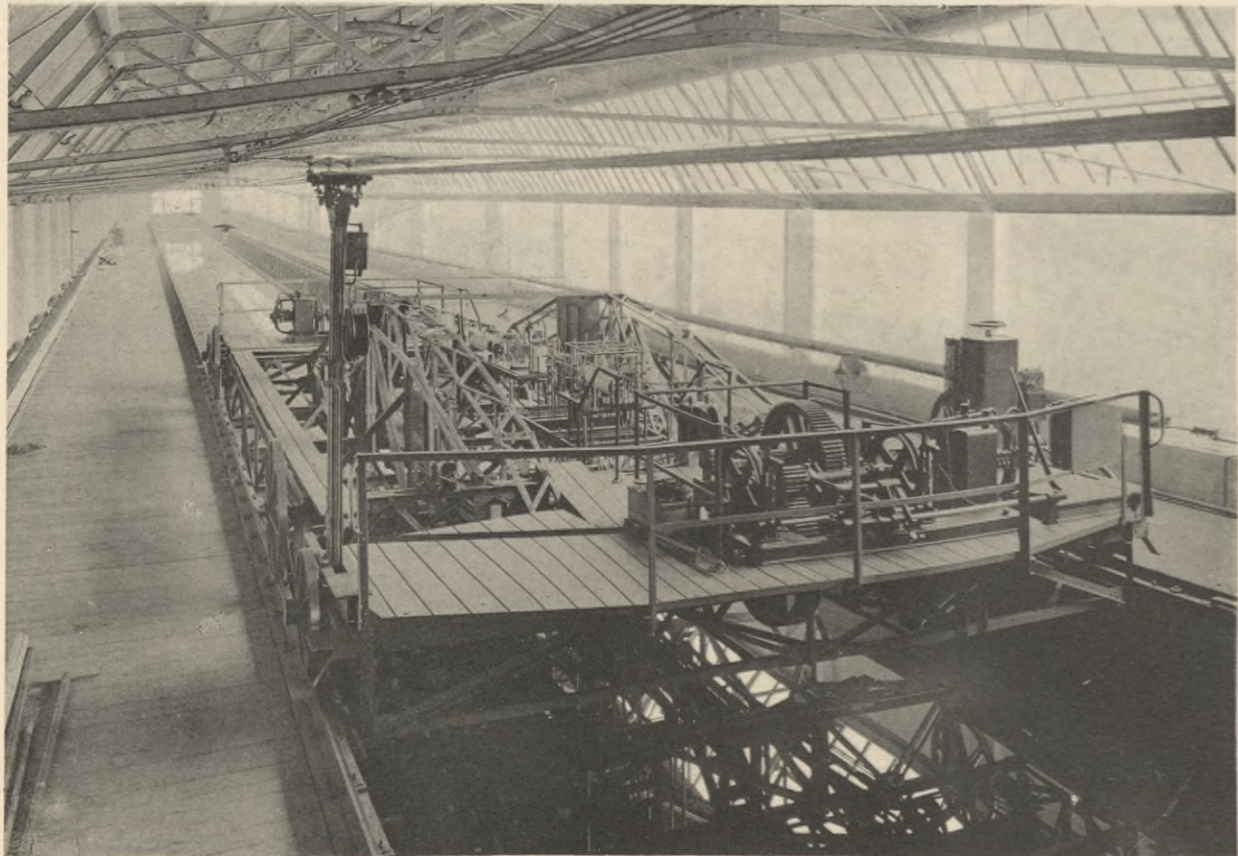


Abb. 3. Schleppwagen in der Versuchsrinne.

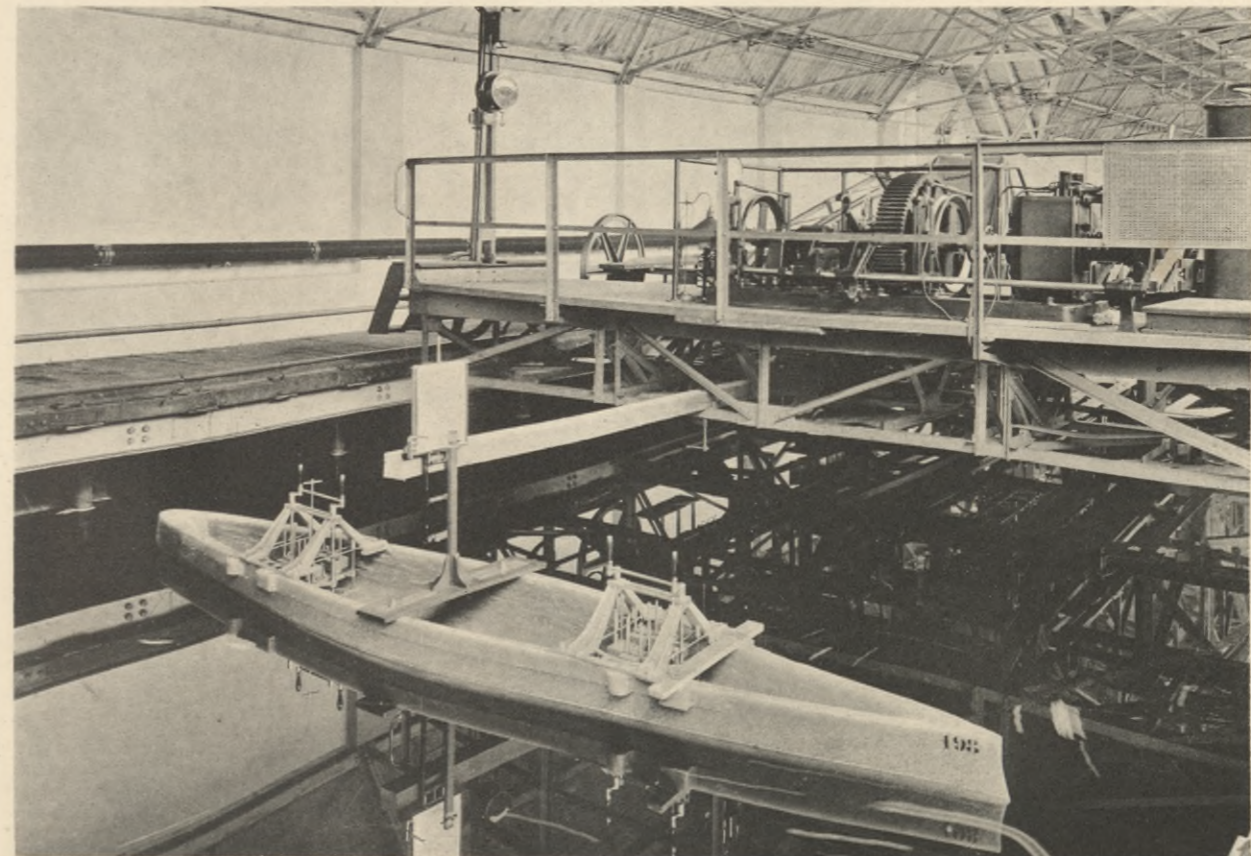


Abb. 4. Schlinger- und Krängungsvorrichtung.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

III 16671
L. inw.

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000301647