DIE BAUTECHNIK

7. Jahrgang BERLIN, 19. Juli 1929 Heft 31

Zur Feier des fünfundzwanzigjährigen Bestehens der Technischen Hochschule Danzig.

An dem wissenschaftlich und für die deutsche Kultur gleich bedeutsamen Feste, das die Technische Hochschule Danzig in den Tagen vom 18. bis 20. Juli zu begehen gedenkt, werden alle gebildeten Deutschen, soweit sie überhaupt Interesse für die Ziele und die Entwicklung der deutschen Technik haben, gern und aufrichtig Anteil nehmen.

Die Hochschule der alten Hansestadt, nicht nur eine wissenschaftliche Erziehungs- und Forschungsstätte, sondern zugleich ein Bollwerk des deutschen Geistes, ein Vorposten deutscher Kultur, erwartet zu dieser Feier ihre zahlreichen Angehörigen, ihre Freunde, ihre früheren Lehrer und Schüler aus aller Welt. Die Erinnerung an Danzig und die dort verlebte schöne Zeit hat sicherlich in vielen, die Verständnis haben für die hohen Aufgaben und die Schwierigkeiten des durch fremdes Machtwort vom Körper des Deutschen Reiches getrennten jungen Staates, den Wunsch lebendig werden lassen, der Jubilarin ihre Glückwünsche persönlich darzubringen und das Fest mitzufeiern.

Auch „Die Bautechnik", die von Beginn ihres Bestehens an mit der Hochschule Danzig in regen geistigen Beziehungen gestanden hat und noch heute steht, will nicht fehlen in den Reihen der vielen Glückwünschenden. Schriftleitung und Verlag der Fachschrift haben geglaubt, ihren herzlichen Wünschen keinen besseren sichtbaren Ausdruck geben zu können als durch eine Festgabe in der Form dieses der Hochschule Danzig gewidmeten Heftes, dessen Beiträge im wesentlichen von Professoren der Hochschule stammen und das somit in gewissem Sinne einen Niederschlag fachwissenschaftlicher Arbeit der Hochschule darstellt und das besondere Interesse unserer Leser wohl in Anspruch nehmen darf.

Möge die Technische Hochschule Danzig, allen äußeren Schwierigkeiten trotzend, auf ihrer stolzen wissenschaftlichen Höhe verharren, sich ungestört weiter entwickeln und ihrer hohen Kulturaufgabe auch in Zukunft gerecht bleiben — das ist unser aufrichtiger Wunsch zu diesen festlichen Tagen.

Schriftleitung und Verlag der „Bautechnik".

Alle Rechte vorbehalten.

Der Danziger Hafen.

Von **R. Bruns**, Technischer Direktor des Hafenausschusses, Danzig.

Die ältesten Hafenpläne Danzigs stammen aus den Jahren 1594/95. Sie zeigen bereits eine beiderseits durch Molen aus Steinkisten eingefaßte Weichselmündung, die damals noch dicht unterhalb der Festung Weichselmünde lag. Bei der starken Sandführung der Stromweichsel litt die Mündung dauernd unter Versandung. Bereits im Jahre 1666 zeigten sich die ersten, von Jahr zu Jahr zunehmenden Ablagerungen an der Stelle der jetzigen Westerplatte. Die alte Weichselmündung versandete mehr und mehr und mußte aufgegeben werden. An ihrer Stelle wurde nach mannigfachen tastenden Versuchen eine weiter westwärts gelegene Fahrrinne, das sogenannte „Westertief" oder die „Westerfahrt" — etwa im Zuge des heutigen Hafenkanals —, im Laufe der Jahre zur Haupteinfahrt in die Weichsel ausgebildet. Ihre Einfahrt von See wurde durch Molen gesichert; die Ufer der Rinne selbst wurden durch Bollwerke eingefaßt. So entstand um das Jahr 1724 unter der Bezeichnung „Hafen zu Neufahrwasser" der eigentliche Seehafen Danzigs. Aber immer noch behinderten die umfangreichen Sandablagerungen einen ordnungsmäßigen Ausbau des Hafens. Man erwog bereits die Möglichkeit, die Mündung der Stromweichsel weiter ostwärts — etwa in die Nähe des heutigen Dorfes Bohnsack — zu verlegen, als im Jahre 1840 die Natur selbst dem geplanten Werk aus Menschenhand dadurch zuvorkam, daß die Weichsel infolge einer Eisversetzung die schmale Dünenkette bei Neufähr durchbrach und so eine neue Weichselmündung schuf (Abb. 1). Das Hafengebiet reichte jetzt von Neufahrwasser bis Plehnendorf. An der neuen Mündung bei Neufähr wiederholte sich nun dasselbe Spiel der nachteiligen Sandablagerungen,

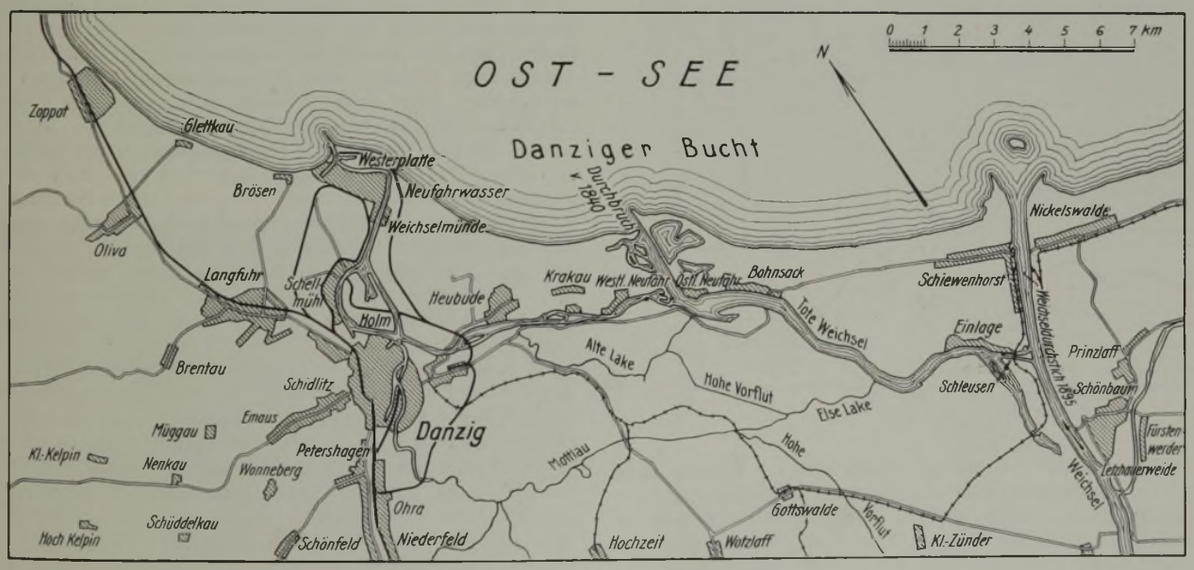


Abb. 1.

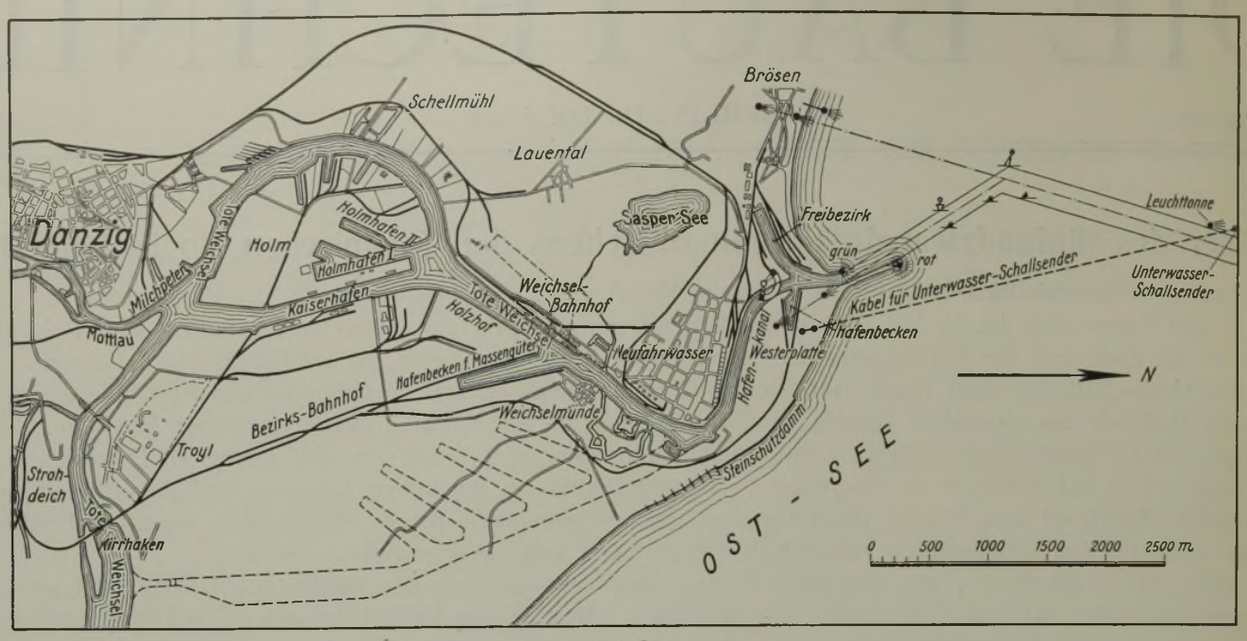


Abb. 2.

wie ehedem an der Mündung bei Neufahrwasser. Aus diesem Grunde und namentlich zur Verhütung von Eisversetzungen und zum Schutze der Niederungen gegen Deichbrüche wurde erneut der Plan erwogen, die Weichselmündung weiter ostwärts zu verlegen und bei Schiewenhorst eine neue Weichselmündung zu schaffen.

Der verhängnisvolle Deichbruch der Nogat bei Jonasdorf am 15. März 1888 brachte diesen Plan beschleunigt zur Ausführung. Bereits in den Jahren 1890/95 wurde der Weichseldurchstich bei Schiewenhorst

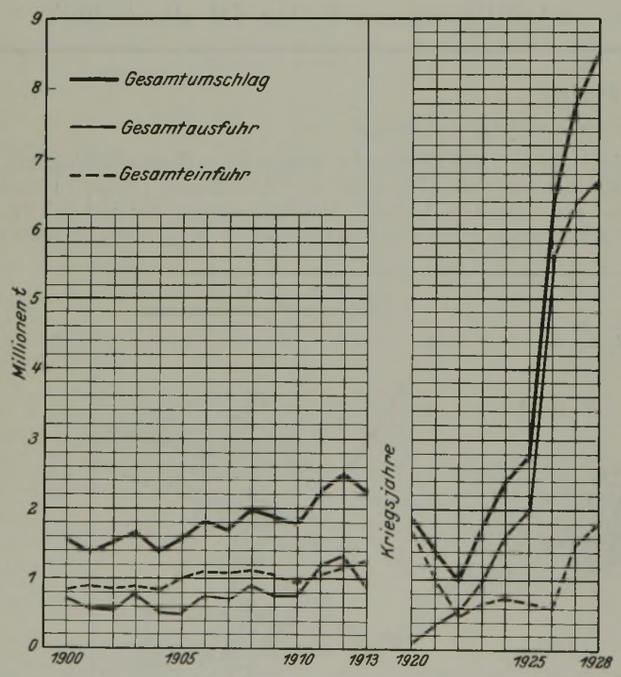


Abb. 3.

hergestellt. Dadurch erfuhr der Danziger Hafen erneut eine wesentliche Vergrößerung. Er reichte jetzt von Neufahrwasser bis Einlage und umfaßte eine Wasserfläche von rd. 700 ha. Den Übergang der Toten Weichsel zur Stromweichsel vermitteln seit dieser Zeit die Einlager-Schleusen, eine Schiffschleuse und eine Floßschleuse mit besonderem Flößereikanal.

Um 1600 bestand der Danziger Hafen aus der Danziger Bucht als Reede, der Weichselmündung als Vorhafen und den beiden Mottlauarmen mit den eigentlichen Schiffsliegeplätzen. Die beiden die heutige Speicherinsel umschließenden Mottlauarme bilden somit den ältesten Teil des Danziger Hafens. Hier lag damals der Mittelpunkt des Schiffsverkehrs, und noch manches alte Bauwerk, insbesondere das im Jahre 1411 erbaute Krantor, ist Zeuge jener stolzen Tage der Hansezeit.

Zur Verbesserung des Verkehrs wurde im Jahre 1692 die „Schuitenlake" ausgehoben, die 1901/03 zum „Kaiserhafen" ausgebaut wurde. Aber schon vorher hatte der Aufschwung des Schiffsverkehrs in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts zum Bau des „Hafenbassins" — des jetzigen Freibezirks — geführt. Dieses Becken wurde 1879 fertiggestellt und auf Wunsch und Antrag der Kaufmannschaft im Jahre 1899 in einen Freibezirk (Zollausland) umgewandelt.

Der Bau der beiden zunächst für Militärzwecke bestimmten Holmbecken wurde erst während der letzten Jahre des Weltkrieges in Angriff genommen. Nach Wiederaufnahme der 1918 unterbrochenen Bauarbeiten sind die Becken später ebenfalls für den Umschlag von Handelsgütern hergerichtet worden.

Ende 1927 wurde schließlich unmittelbar südlich des Dorfes Weichselmünde von der Toten Weichsel abzweigend der Bau eines 800 m langen Massengutbeckens in Angriff genommen (Abb. 2). Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Der rege Umschlagverkehr im Hafen führte bereits im Jahre 1866 zum Bau der Eisenbahn nach Neufahrwasser. Diesem folgte im Jahre 1889 der Ausbau der „Weichseluferbahn" und im Jahre 1905 die Übergabe der „Holmbahn", die den Anschluß des Kaiserhafens und des Holmes an das Bahnnetz vermittelt.

In ältesten Zeiten bildeten Bernstein und die Erträgnisse der Fischerei (Hering und Lachs) die Haupthandelsartikel. Mit der Entwicklung von Flößerei und Schiffahrt auf der Weichsel nahm der Handel einen erfreulichen Aufschwung. Getreide aller Art und besonders Holz mit seinen Nebenerzeugnissen, Teer, Pech, Pottasche usw., wurden in größerem Umfange aus Polen, Südrußland und Galizien ausgeführt. Im 16. Jahrhundert entwickelte sich Danzig zum Haupthandelsplatz der Ostsee. Im Wandel der Zeiten aber blieben Rückschläge nicht aus. Auch die günstige Entwicklung der weiter westwärts gelegenen Häfen Hamburg, Bremen und Stettin, die infolge günstigerer Eisenbahnverbindungen und der im Westen sich entwickelnden Industrie Danzig überflügelten, taten seinem Handel Abbruch. Nur langsam konnte Danzig seinen Verkehr wieder steigern. Abb. 3 u. 4 geben einen Überblick über den Gesamtumschlagverkehr in den Jahren 1900 bis 1928 und den Anteil, den Kohle und Holz an der Gesamtausfuhr hatten.

Während im Jahre 1913 die Einfuhr mit rd. 1 234 000 t die Ausfuhr von 848 000 t noch um rd. 50 % übertraf, übersteigt im Jahre 1928 die Ausfuhr (6 783 000 t) die Einfuhr (1 832 000 t) ganz erheblich. Diese grundlegende Verschiebung der Ein- und Ausfuhrzahlen ist zurückzuführen auf die Änderung der politischen Verhältnisse nach dem Kriege. An der Ausfuhr waren im Jahre 1928 Kohle allein mit rd. 80 % und Holz mit rd. 13,5 % der Gesamtausfuhr beteiligt (s. Abb. 5). Der Stückgutverkehr tritt demnach hinter den Massengutverkehr stark zurück, doch läßt sich anderseits in jüngster Zeit auch beim Stückgutumschlag bereits eine erfreuliche Zunahme feststellen.

Die Verwaltung und Ausnutzung des Danziger Hafens liegt nach der Abtrennung Danzigs vom Deutschen Reich in den Händen des „Ausschusses für den Hafen und die Wasserwege von Danzig", der aus einer Danziger und einer polnischen Delegation zu je fünf Mitgliedern besteht. An der Spitze des Hafenausschusses steht ein Präsident, der auch bei Meinungsverschiedenheiten zwischen den beiden Delegationen zu entscheiden hat.

Die Hauptumschlagstelle des Danziger Hafens für Stückgüter ist der obengenannte Freibezirk, der in den letzten Jahren eine durchgreifende

Neuordnung erfahren hat. Alte Schuppen sind gefallen. Auf der Südseite ist ein neuer Umschlagschuppen von mehr als 10 000 m² Grundfläche errichtet worden, die Kaigleise wurden hier vermehrt und ferner auf beiden Kaiseiten eine Reihe neuer Krane — größtenteils als Wippkrane ausgebildet — aufgestellt. Bei dem umfangreichen Massengutumschlag im Danziger Hafen hat es sich nicht vermeiden lassen, den Freibezirk in den

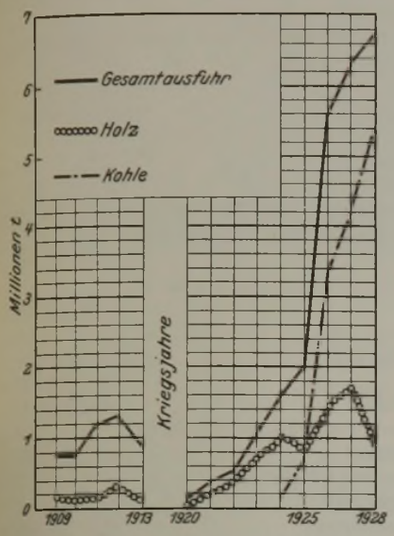


Abb. 4.

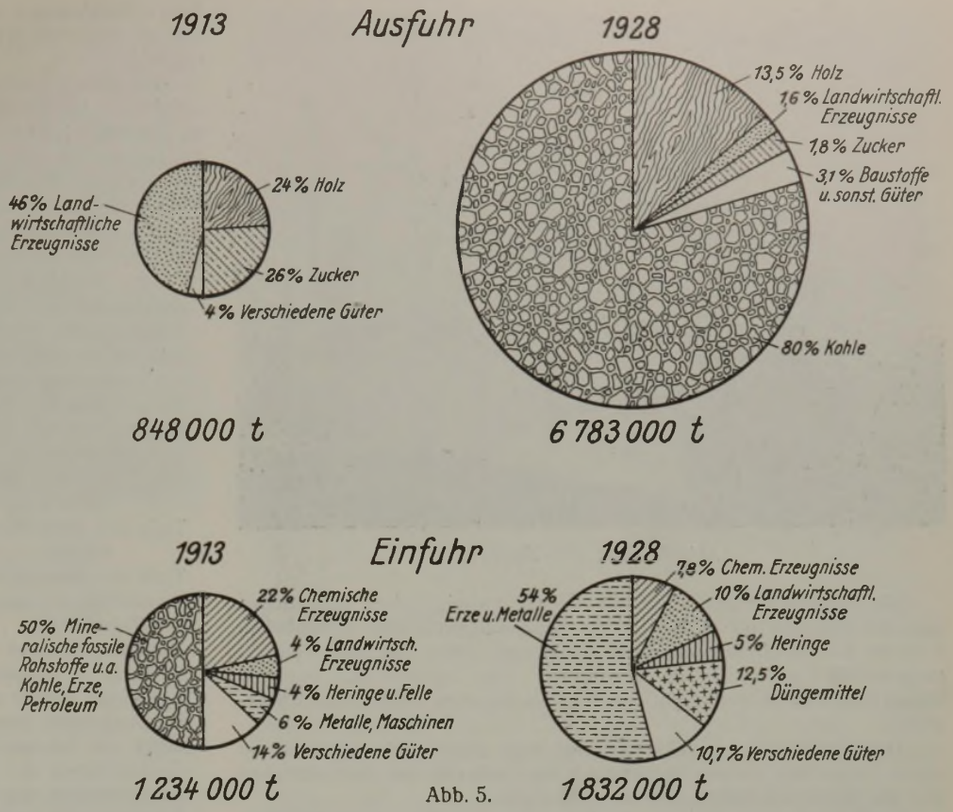


Abb. 5.

letzten Jahren dem Umschlag von Erz, Kohle und anderen Massengütern dienstbar zu machen. Die Verhältnisse werden sich indessen in Kürze, insbesondere nach Fertigstellung des im Bau befindlichen Massengutbeckens, wieder ändern. Der Freibezirk wird alsdann seiner eigentlichen Bestimmung zurückgegeben und zu diesem Zweck bereits in nächster Zukunft mit weiteren umfangreichen Schuppenanlagen ausgerüstet werden. Gleichzeitig wird die Wassertiefe vor der nördlichen Kaimauer von 4,5 m auf 7 m vergrößert werden. Die weiteren Umschlagstellen für den Stückgutverkehr sind der rd. 1600 m lange Hafenkanal, der rd. 700 m lange nördliche Teil des „Weichselbahnhofs", der auf der Ostseite gelegene, kaimäßig ausgebaute Teil das Kaiserhafens und der nördliche Teil des halbkreisförmigen Bogens der Toten Weichsel.

Zucker, Baustoffe, Düngemittel und ähnliche Güter werden in der Hauptsache im Holmhafen I, am Weichselbahnhof, am Hafenkanal und am Marinekohlenlager umgeschlagen. An letztgenannter Stelle befinden sich auch die umfangreichen Tankanlagen der polnischen Staatsgruben.

Für Zucker- und Getreideeinlagerung steht in Danzig eine große Anzahl öffentlicher und privater Speicher mit neuzeitlichen Fördereinrichtungen zur Verfügung, besonders an der Toten Weichsel, am Kaiserhafen und für Seedampfer geringeren Tiefgangs auch an den Mottlauufern.

Ausgedehnte Holzlagerplätze befinden sich auf dem „Holzhof" — auf der Ostseite der Toten Weichsel —, ferner auf dem Holm und auf dem linken Ufer der Toten Weichsel zwischen dem Milchpeter und der Kirrhakenbrücke.

Abb. 7. An der Mottlau.

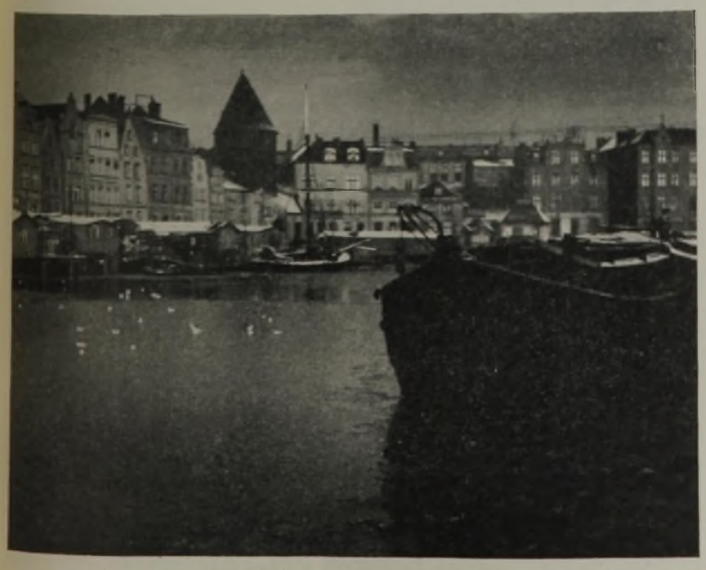


Abb. 6. Langebrücke. Am brausenden Wasser.

Abb. 9. Der Hafenkanal.

Abb. 8. Das alte Krantor.

Die Kirrhakenbrücke bildet die Grenze zwischen dem eigentlichen Seehafen und dem bis zu den Einlager-Schleusen reichenden Binnenhafen. Von der Kirrhakenbrücke aufwärts bis Einlage bietet die Tote Weichsel ausgedehnte Lagerflächen für Wasserholz. Hier befindet sich zwischen Danzig und Plehnendorf auch eine Reihe neuzeitlich eingerichteter Sägewerke.

Der umfangreiche Kohlenumschlag liegt gegenwärtig verstreut an vielen Teilen des Hafens, vornehmlich im Freibezirk, auf dem südlichen Teil des Weichselbahnhofs und im Kaiserhafen.

Der Holmhafen II dient wegen seiner geringen Wassertiefe von 3,5 m gegenwärtig nur als Liegestelle für Binnenfahrzeuge.

Neuerdings ist auch das für die polnische Regierung erbaute Hafenbecken „Westerplatte" durch ein Abkommen zwischen der polnischen Regierung und dem Hafenausschuß unter gewissen Bedingungen dem Umschlag von Handelsgütern zur Verfügung gestellt worden. Das genannte Becken besitzt rd. 640 lfd. m neuzeitlich ausgebaute, mit massiven Schuppen und Kranen besetzte Kaistrecken.

Von größerem Einfluß auf den Danziger Hafenverkehr wird jedoch das gegenwärtig im Bau befindliche, oben bereits erwähnte Massengutbecken sein, das südlich des Dorfes Weichselmünde von der Toten Weichsel abzweigt. Bei einer Länge von 800 m, einer Einfahrtbreite von 150 m, einer Endbreite von 125 m und einer vorläufigen Wassertiefe von 9 m, die jederzeit nach Bedarf vergrößert werden kann, wird es zur Aufnahme und Abfertigung selbst der größten Überseedampfer dienen.

Der Ausbau dieses Beckens geschieht in zwei Abschnitten, von denen der erste mit einer mittleren Beckenlänge von 465 m und rd. 1000 m Kaistrecken bereits in Betrieb genommen worden ist. Die Ostseite dieses Beckens (Ausfuhrseite) soll in der Hauptsache der Kohlenausfuhr, die Westseite (Einfuhrseite) dagegen der Einfuhr von Erzen, Phosphat und anderen Massengütern dienen.

Die Ausrüstung des ersten Beckenabschnittes besteht neben einer stattlichen Anzahl von Schwerlast-Portalkranen mit Greifereinrichtung von 7 bis 10 t Tragfähigkeit aus einer Reihe erstklassiger Spezial-Umschlageinrichtungen (3 Paar Kohlenkipper in Verbindung mit Förderbandanlagen, 3 Erzverladebrücken von 60 m Spannweite und je 10 bis 15 t Tragfähigkeit mit je einem Wiegebunker von 200 t Inhalt und eichfähiger Wiegevorrichtung).

Die Umschlagleistung dieser Anlagen wird für Kohle etwa 3 000 000 bis 4 000 000 t, für die übrigen Massengüter (Erz, Phosphat usw.) etwa 600 000 bis 700 000 t jährlich betragen. Die Erhöhung dieser Leistungen durch Aufstellung weiterer Umschlaganlagen ist gegeben.

Das neue Massengutbecken wird heute vielfach überlasteten anderen Hafenteilen eine erhebliche Entlastung bringen und durch strenge Trennung des Stückgutverkehrs vom Massengutumschlag die Übersichtlichkeit des Hafenverkehrs wesentlich erhöhen.

Zum Schluß seien zusammenfassend noch einige Hauptangaben der Hafeneinrichtungen Danzigs aufgeführt:

Uferlänge des Seehafens	rd.	31 000 m
hiervon kaimäßig ausgebaut	„	8 500 „
mit Bollwerken eingefaßt	„	6 500 „
Wasserfläche des Seehafens	„	220 ha
Wasserfläche des Binnenhafens	„	680 „
Tiefe der Fahrrinne des Seehafens unter Mittelwasser		9 bis 10 m
desgl. auf der Strecke vom Milchpeter bis Kirrhakenbrücke		6,0 „
Tiefe des Binnenhafens von der Kirrhakenbrücke bis Einlage		2,5 bis 3,5 „
Tiefe der Mottlaubecken		4,5 „
Wassertiefe an den Kaistrecken		4,5 bis 9 „
Landlagerflächen	rd.	2 000 000 m²
Wasserlagerflächen für Holz	rd.	2 500 000 „
Krane (z. T. Wippkrane mit Tragkraft von $2^1/_2$ bis 8 t)		60 Stck.
davon mit Greifer ausgerüstet		27 „
Schwimmkrane von 25 bis 100 t Hebekraft		5 „
desgl. von 2,5 bis 5 t Hebekraft		2 „
Gesamtflächen der Privatschuppen	rd.	200 000 m²
Gesamtflächen der Schuppen des Hafenausschusses		50 000 „
Speicher mit selbsttätiger Fördereinrichtung für Getreide, Zucker und ähnliche Güterarten, Fassungsvermögen	rd.	160 000 t
Öl- und Melassetanks, Fassungsvermögen	rd.	100 000 t.

Ferner sind zu nennen die teils fertiggestellten, teils noch im Bau befindlichen Umschlageinrichtungen des Massengutbeckens:

3 Kohlenumschlaganlagen von je 400 t stündlicher Leistungsfähigkeit,
2 Erzbrücken von 60 m Spannweite und 15 t Tragfähigkeit,
1 Phosphatbrücke von 60 m Spannweite und 10 t Tragfähigkeit,
3 Wiegebunker mit eichfähiger Waage,
8 Wippkrane von 5 bis 10 t Tragfähigkeit.

Außer der bereits oben erwähnten Errichtung umfangreicher Schuppenanlagen im Freibezirk plant der Hafenausschuß zur Bewältigung des ständig steigenden Verkehrs einen weiteren großzügigen Ausbau seiner Hafenanlagen. Von diesen Planungen seien als wichtigste noch genannt: die Fertigstellung und Ausrüstung des Massengutbeckens auf ganzer Länge von 800 m, die Errichtung einer Passagierhalle und weiterhin der Bau eines Stückgutbeckens.

Es steht zu hoffen, daß mit der Verwirklichung dieser Pläne bereits in Kürze wird begonnen werden können.

Benutzte Quellen: „Danzig und seine Bauten". Berlin 1908, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

„Danzig und sein Hafen". Jahrbuch 1920 der Hafenbautechn. Gesellschaft, dem auch die Abb. 7 u. 9 entnommen sind.

Alle Rechte vorbehalten.

Wirtschaftliche Fortschritte beim Schöpfwerkbau im Gebiete des Danziger Deichverbandes.

Die deutsche Wirtschaft steht nicht allein augenblicklich, sondern auf absehbare Zeit unter dem bleiernen Druck größter Kapitalknappheit. Die deutsche Technik wird dadurch vor die schwere Aufgabe gestellt, mit einem Mindestaufwande an Kosten eine Höchstleistung an Werte schaffenden Anlagen herzustellen.

In vermehrtem Maße gilt das für den kleinen Danziger Freistaat, der ganz auf sich allein gestellt ist. Und gerade in diesem kleinen Staatengebilde kämpft die Landwirtschaft den härtesten Kampf, denn der Danziger Freistaat ist ein Stadtstaat, dessen Hauptbelange sich auf den Handel konzentrieren. Da bleibt denn für die Landwirtschaft so gut wie nichts übrig, und es gilt die Parole: „Hilf dir selbst, wir können dir nicht helfen". Aber es hat den Anschein, als ob die bittere Not auch in diesem Falle erzieherisch und anspornend wirkt; denn noch nie sind in den beiden großen, zum Danziger Freistaat gehörenden, im Weichseldelta gelegenen Deichverbänden von zusammen über 100000 ha Flächeninhalt so viele und so große Planungen für Landverbesserungen aufgestellt und auch ausgeführt worden, wie jetzt nach dem verlorenen Kriege und nach der Abtrennung vom alten Vaterlande.

Mit unendlicher Mühe und zu unerträglich hohem Zinsfuß müssen die Mittel beschafft werden. Daher sind die für die Landverbesserungen zur Verfügung stehenden Beträge regelmäßig so knapp, daß die Technik gezwungen ist, jeden, auch den kleinsten Vorteil wahrzunehmen, um die Herstellungskosten so niedrig als möglich zu halten.

Bekanntlich liegt mehr als der dritte Teil des Weichsel-Nogat-Deltas unter dem Meeresspiegel. Aber auch die über dem Meeresspiegel liegenden Flächen des Weichseldeltas müssen größtenteils künstlich entwässert werden, weil sie einesteils im Stau der See liegen und weil anderseits das Längsgefälle des Weichseldeltas für freie Entwässerung sehr schwach ist. Es beträgt nämlich nur etwa 1 : 4000.

Seit der Trockenlegung des Weichseldeltas vor etwa 600 Jahren hat man sich daher zur Schaffung künstlicher Vorflut der Schöpfwerke bedienen müssen, die bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts ausschließlich aus hölzernen Windschöpfwerken mit Wurfrädern bestanden. Ausnahmsweise waren auch hölzerne Schnecken im Gebrauch.

Mit der Einführung der Dampfkraft wurden dann diese alten hölzernen Wasserhebemaschinen vielfach mit stationären Dampfmaschinen oder später

Abb. 1. Montage von zwei Schraubenpumpen mit aufgesattelten Motoren und Vorgelegen unter freiem Himmel für das Schöpfwerk Bohnsack des Polders Neue Binnennehrung im Gebiete des Danziger Deichverbandes.

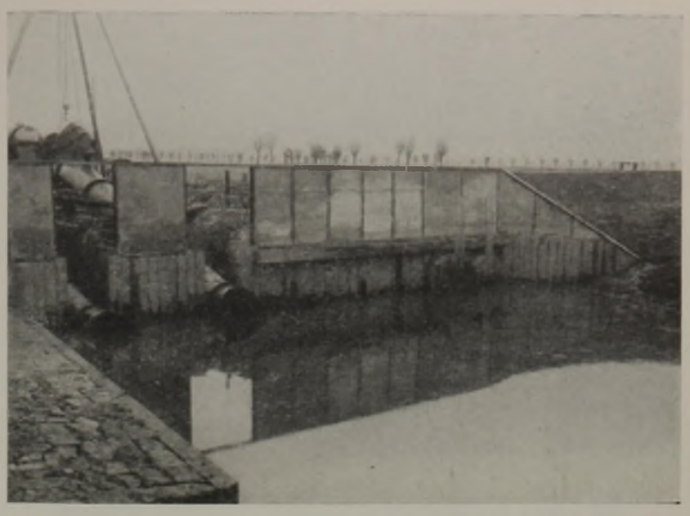


Abb. 2. Schraubenpumpenschöpfwerk Bohnsack. Uferstützwand am Oberwasserkanal aus verankerten I-Trägern mit dazwischen gerammter Spundwand unter Mittelwasser und Eisenbetonplatten über Mittelwasser während der Montage der Druckrohre. Rechts sind die Mündungen der beiden Freilaufrohrleitungen erkennbar mit selbsttätig wirkenden verhängten Rückstautüren.

auch mit Lokomobilen angetrieben, bis zu Beginn dieses Jahrhunderts allmählich Kreiselpumpen zur Anwendung kamen, die anfangs mit Dampf, später, im Danziger Werder ausschließlich, mit elektrischer Energie angetrieben wurden.

In neuerer Zeit hat man die Kreiselpumpen durch Schraubenpumpen ersetzt. Die letztere Pumpenart hat gerade bei den im Weichseldelta in Betracht kommenden nicht sehr großen, aber stark schwankenden Hubhöhen große Vorzüge. Nebenbei haben Schraubenpumpen auch andere Vorteile insofern, als bei ihnen die Hauptrohrachse mit der Wellenachse zusammenfällt, so daß das Raumbedürfnis dieser Pumpenart das denkbar kleinste ist.

Bei den in letzter Zeit im Danziger Deichverband zur Herstellung gekommenen kleinen und mittelgroßen Schöpfwerken hat man sich nun alle Vorteile, die die Schraubenpumpe gewährt, zunutze gemacht und diese Vorteile mit einer hier schon seit längerer Zeit ausgebildeten Bauweise kombiniert, bei der alle massiven Fundierungen sowohl für die Maschinenanlage wie auch für den Ein- und Auslauf vermieden sind. Man hat dadurch die Herstellungskosten für die Gesamtanlagen außerordentlich heruntergedrückt.

Nebenbei ist auch an dem Grundsatze festgehalten worden, daß das Maschinenhaus selbst als unproduktive Anlage anzusehen ist, dessen Herstellung mit einem Mindestaufwande von Kosten zu geschehen hat.

In den Niederungsgebieten von Deutschland sieht man allenthalben aus früheren Bauperioden stammende massive Maschinenhäuser von Schöpfwerken stehen, deren Maschinenanlagen längst als unsachgemäß verworfen sind, die sich aber für die Ersatzbauten ihres Grundrisses und ihrer Nebenanlagen halber als ungeeignet erwiesen haben. Man wird das Lebensalter der Maschinenanlage für ein Schöpfwerk höchstens auf 30 bis 50 Jahre annehmen können, nicht etwa weil die Maschinen dann vollkommen abgenutzt sind, sondern weil diese durch neue und bessere Typen überholt sind. Die Lebensdauer eines massiven Maschinenhauses ist natürlich um ein vielfaches größer. Es bedeutet also eine ganz überflüssige Kapitalvergeudung, wenn man für kleine und mittelgroße Schöpfwerke monumentale Maschinenhäuser errichtet.

Sehr drastisch hat sich hierüber dem Verfasser dieses Aufsatzes gegenüber das führende Unternehmen für Schöpfwerkbauten im westlichen Teile der Vereinigten Staaten von Nordamerika geäußert.

„Wir glauben", sagt die Byron Jackson Co. in wörtlicher Übersetzung über Schöpfwerkbauten, „daß großartige Anlagen, wie sie in Europa üblich sind, wirtschaftlich unmöglich sind. Wenn man eine verhältnismäßig kleine Anlage sieht, schöne Ziegelbauten, kostspielige Rohrleitungen in Beton, für Jahrhunderte Lebensdauer bestimmt, mit kostbaren Betonauffahrten, wunderbaren wirtschaftlichen Dieselmaschinen in einem gut elektrisierten Bezirk, die einen Wärter benötigen, und alles das in Ländern, wo das Kapital knapp ist, so fühlt man, daß der Wirtschaftssinn der Ingenieure schläft. Wir stellen für eine durch einen einzelnen Motor getriebene Anlage ein Wellblechhaus auf, das vom Lager gekauft werden und für weniger als 100 Dollar vollständig erstellt werden kann. Wo zwei oder drei Pumpen benötigt werden, verwenden wir zwei solcher Häuser. Wir rechnen mit einem noch schnelleren Veraltern als Sie und legen einen noch größeren Wert auf geringe Anlagekosten, da manche Anlagen, die nach einem Zeitraum von fünf Jahren teilweise Reparatur oder Ersatz erforderlich machen würden, heute nicht wirtschaftlich sind, wenn sie in der bestmöglichen Ausführung für 10 Jahre Lebensdauer ausgeführt werden."

Gewiß darf man nicht amerikanische Verhältnisse ganz allgemein und kritiklos auf Deutschland übertragen. Aber dem Grundsatze nach sind die Feststellungen der Amerikaner auch für uns gültig. Man stößt immer von neuem bei unseren Schöpfwerkentwürfen auf das Bestreben von Ingenieuren, an der Größe der Pumpen Ersparnisse zu machen. Man merkt manchmal förmlich den Stolz des Entwurfaufstellers, wenn er nachgewiesen zu haben glaubt, daß man unbeschadet die Pumpenleistung habe erheblich herabsetzen können. Wenn dieselben Verfasser doch lieber einen Teil ihrer Sorgfalt darauf verwendet hätten, Ersparnisse an den unproduktiven Nebenanlagen des Schöpfwerks, d. h. am Ein- und Auslauf, an den Fundierungen und am Maschinenhause, zu machen.

Die Maschinenanlage ist der eigentlich Werte schaffende Teil des Schöpfwerkes. Jede vermeintliche Ersparnis an der Stärke der Pumpen rächt sich früher oder später bitter, und zwar gerade am schlimmsten in den Fällen von extremen Katastrophenniederschlägen. Hier ist also Sparsamkeit höchst übel angebracht. „Die Maschinenanlage so leistungsfähig wie möglich, die Nebenanlagen nur so, daß sie gerade ihren Zweck erfüllen", das muß, besonders in jetziger Zeit, der wirtschaftliche Leitgedanke für den deutschen Schöpfwerkbau sein.

Die Abbildungen lassen die Einzelheiten erkennen, die bei der Planung und Ausführung kleiner und mittelgroßer Schöpfwerke im Danziger Deichverband, der übrigens sämtliche Bauten auch für seine Unterverbände im Eigenbetrieb ausführt, jetzt regelmäßig eingehalten werden. Die Pumpen kommen fertig montiert aus der Fabrik, und zwar in der Regel auf Fundamentrahmen aus Profileisen mit darunter befindlicher Grobblechplatte aufmontiert. Die Montage an Ort und Stelle ist immer teurer und weniger genau als in der Fabrik. Die Aufstellung der Pumpen geschieht regelmäßig unter freiem Himmel. Die größere Pumpe in Abb. 1 hat mit ihrem Fundamentrahmen ein Gesamtgewicht von 10 t. Trotzdem kam sie auf dem Rahmen stehend als ein Stück aus der Fabrik, wurde mittels eines schweren Rollwagens noch 15 km weit auf Chaussee über eine Fähre bis in die Nähe der Baustelle und von dort noch einige hundert Meter weit über freies Feld auf dem Wagen mittels einer Winde auf untergelegten Bohlen an Ort und Stelle geschafft. Dort wurde die Pumpe abgeladen, indem sie mittels Winden etwas angehoben wurde, so daß der Rollwagen unter ihr weggezogen werden konnte. Das Zurechtrücken der Pumpe auf ihren endgültigen Platz folgte dann dadurch, daß man sie mittels eines starken Flaschenzuges an einem Dreibein aufhing. Dadurch wurde der Montagekran gespart, den man häufig selbst bei mittelgroßen Schöpfwerken sieht. Dieser Montagekran verlangt seinerseits Tragekonstruktionen, d. h. tragfähige Wände, die natürlich ihrerseits Mehrkosten verursachen. Diese können gespart werden.

In einem bereits fertiggestellten Schuppen kann man natürlich kein Dreibein aufstellen. Außerdem ist das Arbeiten mit dem schweren Gewicht der Pumpe in dem engen Raum eines beschränkten Maschinenschuppens sehr beschwerlich und unbequem. Das fällt bei Montage unter freiem Himmel fort. Die Pumpe ist gegen Witterungseinflüsse unempfind-

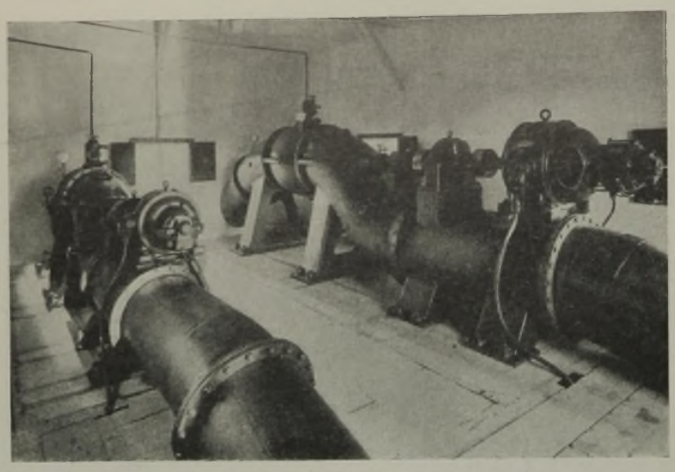


Abb. 3.
Das Innere des Bohnsacker Schraubenpumpenschöpfwerkes nach der Fertigstellung.

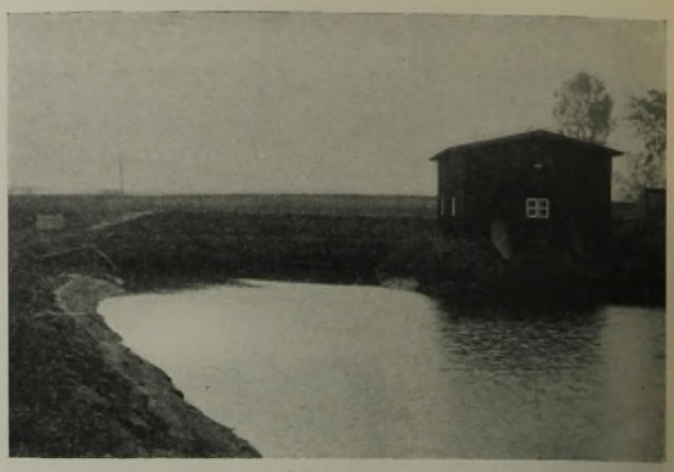


Abb. 4. Bohnsacker Schöpfwerk nach der Fertigstellung über den Hauptbinnenkanal vom Polder aus gesehen. Links vom Maschinenschuppen der Freilaufkanal mit Freilaufrohrleitungen unter dem Stirndeich, im Hintergrunde der Weichseldeich hinter dem Oberwasserkanal.

lich, zumal die feineren Teile, wie Armaturen usw., erst nachträglich angebracht werden. Im übrigen lassen sich die Maschinen, vor allem der zuletzt aufgesetzte Elektromotor, gegen Nässe durch einen wasserdichten Plan oder durch Dachpappe genügend schützen.

Der vollständig vorbereitete hölzerne Maschinenschuppen wird dann in wenigen Tagen über die Maschinenanlage gesetzt. Die kleinen massiven Fundamentklötzchen sind bereits vorher hergestellt (s. Abb. 1, 4 u. 5).

Die Pumpe steht mit ihrem aus Profileisen hergestellten Fundamentrahmen auf der bloßen Erde. Die Bodenpressung der gefüllten Pumpe beträgt etwa 0,1 kg/cm². Die auf dem Rahmen mit darunter befindlicher Grobblechplatte stehende Pumpe wirkt hinsichtlich ihrer Bodenpressung ebenso wie eine 5 bis 7 cm starke, 8 bis 12 m² große massive Eisenplatte. Der Fundamentrahmen ist also selbst ein Fundament, und zwar ein sehr sicheres. Etwaiger Frost kann bei dem vollständig trockenen Boden im Maschinenschuppen keinerlei nachteilige Wirkungen ausüben. Im Danziger Deichverbande stehen etwa 40 Pumpen auf derartigen Fundamentrahmen, ohne daß auch in einem einzigen Falle sich irgend ein Nachteil daraus ergeben hätte. In einem Falle (Abb. 5) hat man die Pumpe versuchsweise auf eine Eisenbetonplatte gesetzt, um einen Vergleich hinsichtlich der entstehenden Kosten zu haben. Dieser Versuch hat nichts gegen die Verwendung der Fundamentplatten aus Profileisen ergeben.

Die schrägen Rohrleitungen, die sich mühelos und schnell an die feststehende Pumpe anschrauben lassen, wirken nebenbei noch gleichzeitig als Streben und als Anker für die Pumpe.

Die Elektromotoren werden im Danziger Deichverband bei derartigen Schraubenpumpenanlagen grundsätzlich auf Sättel gesetzt, die an den Rohren angegossen sind. Man benutzt also die Rohrleitungen als Fundamente für die Kraftmaschinen. Wie Abb. 1 u. 3 erkennen lassen, ist auch das in Öl laufende Präzisionsgetriebe auf einem besonderen Sattel auf die Rohrleitungen gesetzt.

Der hölzerne Schuppen wird innen gerohrt und geputzt als Schutz gegen Witterungseinflüsse (Abb. 3).

Verworfen wird für kleinere und mittelgroße Schöpfwerke grundsätzlich die Herstellung massiver Ein- und Ausläufe. Das Wasser wird mittels schräg liegender Rohrleitungen nach und von der Pumpe geführt (Abb. 1, 2, 4, 5 u. 6), wobei man von der Überlegung ausgegangen ist, daß ein laufendes Meter eiserner Rohrleitung billiger ist als ein laufendes Meter Kanal mit massiven Wänden. Die Häupter des Innen- und Außenwasserkanals werden lediglich durch aus Spundwänden und einigen Rammpfählen bestehende Bohlwerke unter Mittelwasser gebildet, wie Abb. 6 erkennen läßt. Zur Sicherung der Kanalböschungen des Innenkanals werden im Anschluß an das den eigentlichen Einlauf bildende, sorgfältig, wenn auch einfach ausgebaute Grabenhaupt bei aus Schwimmsand bestehendem Untergrund hölzerne Sohlkaskaden angewandt mit Tonverpackungen hinter den Hintersetzungsbrettern (Abb. 6 u. 7).

Nur ganz ausnahmsweise, wenn besondere Umstände vorliegen, kommen massive Uferstützwände zur Anwendung, wie sie Abb. 2 zeigt. In diesem besonderen Falle war dicht neben der Baustelle des neuen Schöpfwerkes ein altes Schöpfwerk mit einer Uferbefestigung aus Eisenfachwerk vorhanden. Diese vorhandene Uferbefestigung konnte teilweise mitbenutzt werden. Neben dem neuen Schöpfwerk sollte außerdem ein Freilauf mit zwei selbsttätig wirkenden Rückstautüren hergestellt werden. Diese Anlage benötigte eine massive Stirnwand. Aus diesem Grunde wurde ausnahmsweise eine durchlaufende Uferstützwand aus Eisenfachwerk hergestellt. Hier hätten erhebliche Ersparnisse gemacht werden können, wenn nach dem Oberwasser hin die Böschung des Stirndeiches hätte ausgeschüttet werden können mit einem niedrigen hölzernen Bohl-

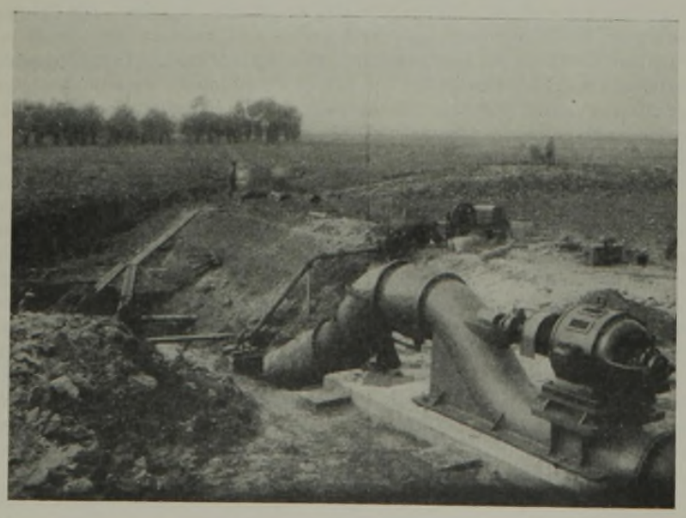


Abb. 5.
Schraubenpumpenschöpfwerk Osterwicker-Binnenfeld.
Unter freiem Himmel aufmontierte Schraubenpumpe mit aufgesatteltem Elektromotor auf einer Eisenbetonplatte stehend.

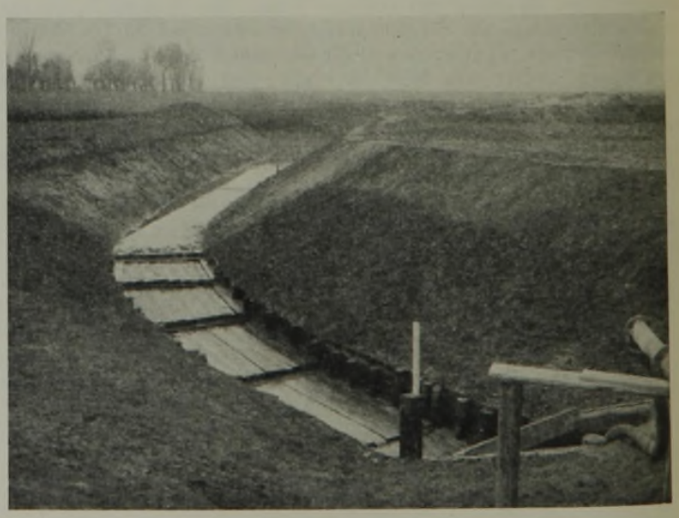


Abb. 7.
Schraubenpumpenschöpfwerk Osterwicker-Binnenfeld.
Blick auf den trocken gelegten Binnenwasserkanal, vom Schöpfwerk aus gesehen, mit hölzerner Sohlkaskade.

Abb. 6. Schraubenpumpenschöpfwerk Osterwicker-Binnenfeld nach Fertigstellung des Maschinenschuppens und Transformatorenturms. Im Vordergrunde der trocken gelegte Binnenwasserkanal mit Sohlkaskade und Pumpensumpf.

werk unter Mittelwasser. Die dann notwendige Verlängerung der Rohrleitungen hätte gegenüber der erzielten Ersparnis nur verhältnismäßig geringe Mehrkosten verursacht.

Bei solchen kleineren Schöpfwerkbauten ist das größte Gewicht auf die richtige Auswahl der zu verwendenden Baumaschinen zu legen. Derartige kleine Bauten sind nicht imstande, große Generalunkosten zu tragen. Größere Baumaschinen, deren Hin- und Rücktransport und Auf- und Abmontage große Kosten verursachen, sind daher von vornherein von der Verwendung auszuschließen.

Zum Rammen der Spundwände und Pfähle benutzt der Danziger Deichverband daher beim Bau kleinerer Schöpfwerke keine großen Dampframmen, sondern er verwendet kleine Zugrammen, deren Bär mittels eines elektrisch betriebenen Reibungsgetriebes gehoben wird. Eine derartige Ramme kann von zwei Mann bedient und von drei Mann aufgestellt werden. Da bei elektrisch betriebenen Schöpfwerken vielfach besondere Transformatorenanlagen notwendig sind und Niederspannungstrom daher beim Beginn des Baues noch nicht zur Verfügung steht, hilft man sich durch Benutzung eines angeliehenen fahrbaren Transformators, um den Hochspannungstrom für Bauzwecke, d. h. für Rammen und Wasserpumpen, umformen zu können.

Das kleinere Schöpfwerk (Abb. 5, 6 u. 7) hat eine sekundliche Leistung von 700 l bei einer mittleren Hubhöhe von 1 m. Die Poldergröße beträgt hier etwa 450 ha. Die Gesamtkosten dieses Schöpfwerkes betragen nach der Abrechnung einschließlich des Transformatorenturms, jedoch ausschließlich des Zolls für die Maschinen 17340 R.-M., d. h. jedes ha wird mit 38,5 R.-M. belastet.

Das größere Schöpfwerk (Abb. 1, 2, 3 u. 4) hat eine größere Pumpe von 1800 l Sekundenleistung und eine kleinere von 800 l Sekundenleistung. Zusammen leisten beide Pumpen also 2600 Sekundenliter bei einer mittleren Hubhöhe von 1 m. Das Areal dieses Polders beträgt rd. 1380 ha. Die Gesamtkosten dieses Schöpfwerkes betragen laut Abrechnung einschließlich des Transformatorenturms (auf den Abbildungen nicht sichtbar), jedoch ausschließlich der Zollgebühren, 44530 R.-M. Jedes ha wird hier also mit 32,3 R.-M. belastet. Das größere Schöpfwerk ist demnach im Verhältnis etwas billiger, obgleich dieses Schöpfwerk durch die teure massive Uferstützwand und die Freiwasserrohrleitungen belastet war und obwohl diese Anlage bei gleicher Hubhöhe je ha 1,87 Sekundenliter fördert gegenüber einer sekundlichen Förderleistung von nur 1,56 l/ha für das Schöpfwerk des kleinen Polders Osterwick. Das ist durchaus verständlich, denn normalerweise werden Schöpfwerke, umgerechnet auf die Flächeneinheit von einem Hektar, bis zu einer bestimmten Grenze bei zunehmender Größe billiger. Das ist dadurch begründet, daß Pumpen und Kraftmaschinen, auf die Einheit umgerechnet, mit zunehmender Größe billiger werden. Ebenso verursachen der Maschinenschuppen und die Anlagen für den Ein- und Auslauf bei zunehmender Größe im Verhältnis geringere Kosten.

Bei Schöpfwerken mit Rohrweiten von mehr als etwa 1,0 m Lichtweite läßt sich die vorbeschriebene wohlfeile Bauweise nicht mehr anwenden, weil dann die Maschinenteile und die Rohre zu schwer werden, um sie ohne Krananlage zusammenbauen zu können. Für solche Großschöpfwerke läßt sich die Anwendung eines massiven Pumpensumpfes und eines massiven Hauptes für den Auslauf der Druckrohre nicht vermeiden. Man wird dann bei der Errechnung der anteiligen Kosten für 1 ha Polderfläche sofort den Anstieg der Belastung gegenüber der für kleinere Schöpfwerke möglichen einfachen Bauweise feststellen können. Während bei der letzteren die Kosten für die nicht eigentlich produktiven Teile des Bauwerks, d. h. für Einlauf, Auslauf, Maschinenschuppen usw., nur 15 bis 25% der Gesamtkosten betragen, können sie bei massivem Pumpensumpf und massivem Maschinenhaus mit Krananlage u. dgl. unter ungünstigen Verhältnissen manchmal auf 60% der Gesamtkosten steigen.

Nur selten wird bei uns, besonders bei kleineren Kommunalverbänden und Korporationen, der schaffende Ingenieur noch in die glückliche Lage kommen, ohne Rücksicht auf die Kosten in jeder Beziehung reich ausgestaltete, monumentale Musteranlagen schaffen zu können. Jetzt gilt es fast immer, rückwärts zu rechnen und Mittel und Wege zu finden, um mit einem überhaupt beschaffbaren beschränkten Betrage trotzdem leistungsfähige Anlagen herzustellen. Dabei muß man dann allerdings den kleineren Nachteil wohl oder übel mit in den Kauf nehmen, daß solche Anlagen als reine Zweckbauten ausgestaltet werden müssen.

Dr.-Ing. Bertram,
Professor an der Technischen Hochschule Danzig,
Oberbaurat des Danziger Deichverbandes.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Wasserkraftnutzung im Gebiete der Freien Stadt Danzig.

Von Prof. Dr.-Ing. **Richard Winkel**, Danzig.

Nach der Lostrennung des Danziger Gebietes vom deutschen Mutterlande war es für den kleinen Staat, dem nur eine Fläche von 1966 km² verblieben war, auf der ungefähr 384000 Menschen leben, ein zwingendes Gebot, die im Lande verfügbaren Wasserkräfte soweit als möglich der Volkswirtschaft nutzbar zu machen. Hierfür kam die Radaune in Betracht, die westlich von der Stadt Danzig auf jetzt polnisch gewordenem Gebiet ihren Ursprung hat und dort auch die von Norden her fließende Strellnick und den Stolpe-Bach in sich aufnimmt. Auf Danziger Gebiet hat die Radaune eine Lauflänge von etwa 30 km bis zur Einmündung in die Mottlau und dadurch in die Tote Weichsel bei Danzig und, da sie in einer geodätischen Höhe von etwas über + 100 m NN in das Freistaatgebiet eintritt, eine theoretisch nutzbare Fallhöhe von 100 m; der mittlere Jahresabfluß der Radaune beträgt ungefähr 6 m³/sek, demnach ist die auf Danziger Gebiet entfallende Wasserkraft der Radaune im roh gerechneten Durchschnitt 1000/75 · (6 · 100) = 8000 PS theoretisch, von denen naturgemäß nur ein Teil praktisch wirklich gewonnen werden konnte.

Einige Mühlen mit je 100 PS und etwas darüber haben zum Teil schon seit der Blütezeit des Deutschen Ritterordens (Marienburg) das Radaunewasser, das teilweise in besonders angelegten Werkkanälen zugeleitet wurde, ausgenutzt. Kurz vor Ausbruch des Weltkrieges wurde die erste größere Wasserkraft-Anlage bei Straschin-Prangschin mit rd. 14 m Gefällnutzung (OW = + 41,2 m NN und UW = + 27 m NN) errichtet und zur Stromversorgung des umliegenden Landkreises Danziger Höhe in Betrieb genommen. Die Höhenlage zwischen + 41,2 m und + 100 m NN war von neun kleineren Mühlen und Kraftwerken nur recht unwirtschaftlich ausgenutzt, als im Jahre 1920 die Danziger Wirtschaft nach der Abtrennung auf sich allein angewiesen war. Es lag also der Gedanke nahe, nun die noch ausbaufähige Fallhöhe von rd. 59 m in wirtschaftlicher Weise für den Danziger Energiebedarf nutzbar zu machen. Die Geländegestaltung ließ es nicht zu, diese 59 m Fallhöhe in einem einzigen Werke auszunutzen, zumal auch auf eine Wasserspeicherung Bedacht zu nehmen war. So ergab sich denn die Notwendigkeit, zwei Staustufen zu schaffen: bei Bölkau

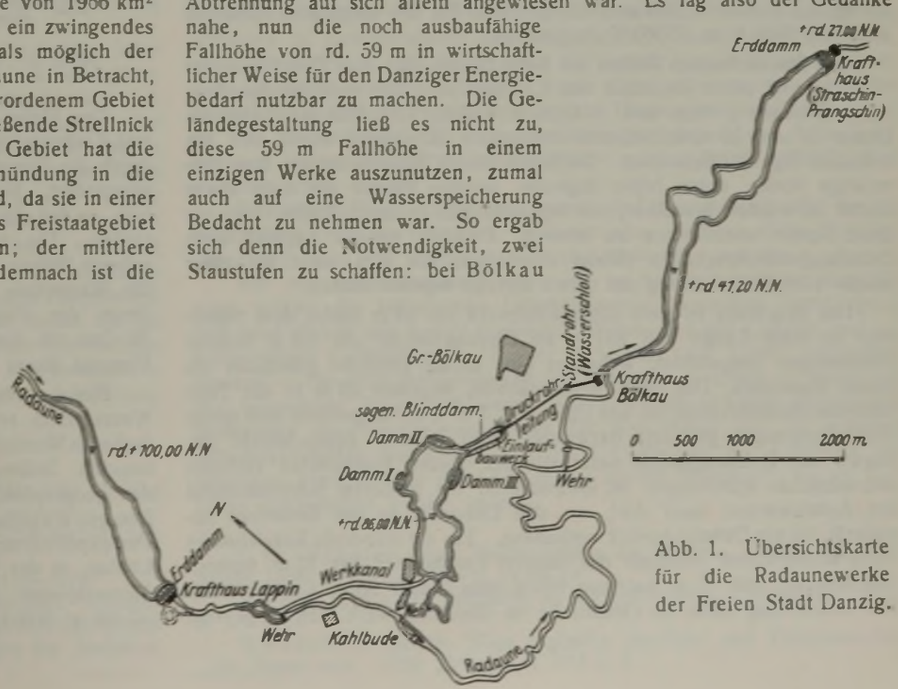


Abb. 1. Übersichtskarte für die Radaunewerke der Freien Stadt Danzig.

mit einem Gefälle von + 86 m auf + 41,2 m NN und bei Lappin von + 100 m auf + 86 m.

Die Übersichtskarte (Abb. 1) zeigt die Lage der drei neuzeitlich gebauten Stau- und Kraftanlagen; als Stauwerke sind Erddämme mit Dichtungskern erbaut worden; bei Bölkau wird der Stau durch ein Betonwehr gehalten; der Querschnitt des Dammes bei Straschin-Prangschin (Abb. 5) zeigt wasserseitig eine 1,5fache, gepflasterte Böschung, die bei neueren Bauten mindestens 1 : 2,5 oder 1 : 3 (vergl. Abb. 2) gewählt wird, da die Böschungsneigung 1 : 1,5 unter Wasser selbst nach jahre- oder jahrzehntelangem Betrieb doch immer noch einer Rutschgefahr preisgegeben ist, und zwar selbst bei Abpflasterung. Bei einer Böschung 1 : 3 kann dagegen erfahrungsgemäß auf die Abpflasterung verzichtet werden. Ferner ist der Dichtungskern, dessen Oberkante nur rd. 0,5 m über HW liegt, nicht hoch genug geführt, um auf alle Fälle eine kapillare Heberwirkung zu verhindern.

Der Lappiner Erddamm, der 1926/1927 erbaut wurde, hat Böschungsneigungen von 1 : 3 und 1 : 3,5. Die Dichtung ist hier bis zur Dammkrone hochgeführt, was sehr nachahmenswert ist. In der Wasserspiegelhöhe ist wasserseits ein Wellenschutz durch aufgelegte Betonplatten geschaffen worden.

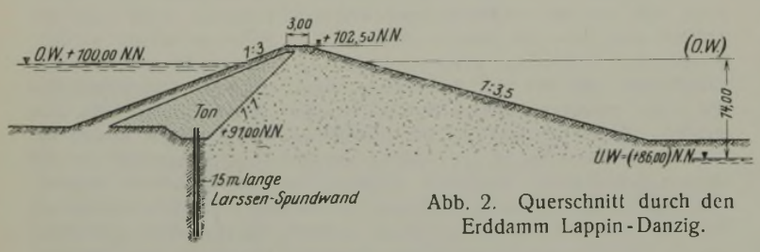


Abb. 2. Querschnitt durch den Erddamm Lappin-Danzig.

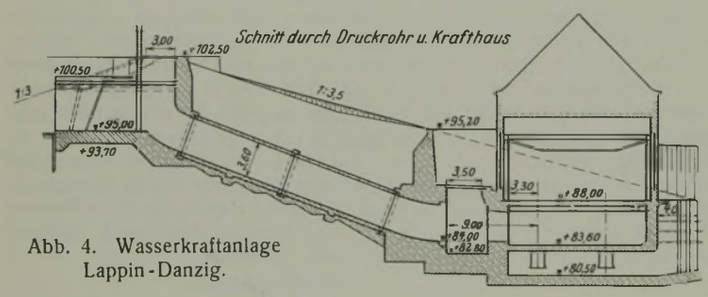


Abb. 4. Wasserkraftanlage Lappin-Danzig.

In den Kraftwerken können im Höchstfalle bis 21 bezw. 24 m³/sek Wasser in den Turbinen zur Energiegewinnung verarbeitet werden; dies setzt natürlich einen planmäßig geregelten Verbundbetrieb und eine ausreichende Wasserspeicherung voraus, da, wie schon erwähnt, die durchschnittliche Wasserführung der Radaune nur etwa 6 m³/sek beträgt. Die normalen Fallhöhen an diesen drei Gefällstufen sind ungefähr 44 m in Bölkau und für die anderen beiden je ungefähr 14 m. Die Größtleistung beträgt im Kraftwerk Bölkau 3 (3175) = 9525 PS, die elektrische Spannung wird von 6000 V in 35000 V umgewandelt.

Das Sammelbecken Bölkau hat beim Höchst-Stau eine Oberfläche von rd. 54 ha und einen Stauinhalt von 2,45 Mill. m³. Der nutzbare Speicherraum zwischen + 86 m und + 83,25 m enthält 1,14 Mill. m³. Der am Damm II und III anschließende sogenannte Blinddarm ergab sich aus örtlichen Eigentümlichkeiten. Die Sohle dieses Beckens bildete dort eine moorige Senke, deren höher liegende, sandige Ränder nur noch etwas erhöht zu werden brauchten, um den Erddamm in der Sollhöhe rings um diese Senke herumführen zu können. Dadurch wurden zugleich auch Gründungsschwierigkeiten (Moor) umgangen, die sich sonst bei einer Kanal- oder Rohr-Leitung auf dieser Strecke ergeben hätten.

Das Druckrohr ist vom Einlauf-Bauwerk bis 93 m hinter dem Standrohr in einer Länge von 837 m als Eisenbetonrohr mit 3,6 m lichtem Durchmesser ausgebildet, wobei es eine kleine Talsenke gleichsam als Düker überquert. Das dann anschließende, ungefähr 33 m in die Tiefe führende Steilbahn-Rohr ist aus Eisen mit 3 m l. W. hergestellt und durch Beton-Festpunkte gestützt; dazwischen wird es von Beton-Sätteln getragen, ein Dehnungsstück unterhalb des oberen Festpunktes verhütet unerwünschte Spannungen im Rohrmaterial bei größeren Schwankungen der Außenwärme; auch dort, wo das Eisenrohr an das Betonrohr anschließt, ist ein Dehnungsstück vorhanden. Ein als Standrohr bezeichnetes Turm-Wasserschloß oberhalb des oberen Festpunktes hat 12 m inneren Durchmesser und 17 m nutzbare Höhe über seiner Sohle (+ 75 m NN). Die Rohrleitung kann im Gefahrfalle im Einlaufbauwerk durch ein vom Krafthause aus elektrisch auslösbares Fallschütz abgesperrt werden, das außerdem auch unmittelbar durch Motorantrieb bedienbar ist; ferner ist noch ein durch Handwinden heb- und senkbares Schütz dort vorgesehen worden. Dieses Füllschütz ist in einem Umlaufkanal eingebaut.

Nach der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Bölkau wurde die Staustufe bei Lappin gebaut (Abb. 2 bis 4), das dortige Kraftwerk konnte im Jahre 1927 in Dienst gestellt werden; das Druckrohr mit 3,6 m innerem Durchmesser erhielt durch seinen unmittelbaren Einbau in den Staudamm in günstiger Weise eine sehr geringe Länge, wie es aus Abb. 4 ersichtlich ist. Bemerkenswert ist ferner die selbsttätige Staureglung durch ein von einem Tauchgewicht gesteuertes Segmentwehr (vergl. Abb. 3, die auch die anschließende Sturztreppe zeigt). Das Unterwasser bildet etwa ein 1 km langer Wasserkanal, der in das Wehrstaubecken der Anlage Bölkau mündet (Stauhöhe + 86 m NN). Die feste Wehrkrone liegt auf + 85,5 m NN, drei Öffnungen von je 12,2 m Weite sind mit beweglichen Klappen abgeschlossen, die sich bei einem höheren Stau als + 86 m selbsttätig so weit niederlegen, daß der Normal-Stau erhalten bleibt. Eine Seitenöffnung von 8 m Weite ist ebenfalls mit einer Stauklappe versehen und wirkt als Streichwehr. An der Nordseite des Wehres beginnt ein am Hang entlanggeführter Werkkanal von 1,4 km Länge; durch diesen können etwa 20 m³/sek und mehr dem Bölkauer Sammelbecken zugeschickt werden, seine Sohle hat ein Gefälle von 1 : 5000, und der Querschnitt des Kanales beträgt ungefähr 24 m².

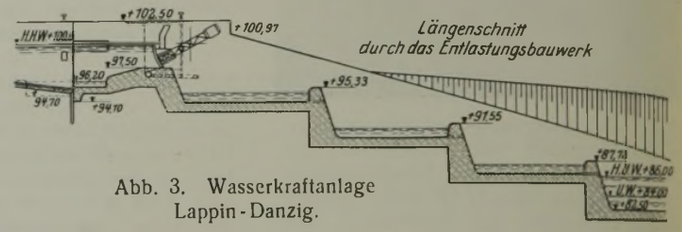


Abb. 3. Wasserkraftanlage Lappin-Danzig.

Wenn die Radaune aus ihrem Quellgebiet her Hochwasser bringt, so kann dieses durch zwei Grundablässe von je 2,4 m² Querschnitt im Lappiner Damm, die im Höchstfalle etwa 86 m³ sek fördern können, abgeführt werden, ebenso würde der Überschuß an Wasser, der nicht von dem Bölkauer Sammelbecken mehr aufgenommen werden könnte, durch das Wehr dem alten Radaunelauf bei Kahlbude zugeführt werden. Dieser Fall ist indessen unwahrscheinlich, da die Hochwassermenge im allgemeinen nur etwa 30 m³ sek beträgt, die speicherbar sind.

Abb. 5. Querschnitt des Dammes bei Straschin-Prangschin.

Der kleine Freistaat Danzig hat durch die Baukosten dieser Stau- und Kraftanlagen eine starke finanzielle Belastung zu tragen, die sich aber durch die Einnahmen für die Stromabgabe von Jahr zu Jahr naturgemäß vermindert. Nach etwa 25 bis 30 Jahren werden die Anlagekosten getilgt sein, so daß diese Werke ein wertvolles Staatsvermögen für dauernd darstellen. Die oberste Leitung der Bauausführung für die Wasserkraftanlagen Bölkau und Lappin hatte Dr.-Ing. Beger, der jetzt den Lehrstuhl für Wasserbau an der Technischen Hochschule Breslau innehat. Der Senat der Freien Stadt Danzig, insbesondere der Senatspräsident Dr.-Ing. ehr. Sahm und Senator Runge, haben durch die großzügige Planung dieser Anlagen sich ein großes Verdienst erworben.

Einen weiteren Ausbau würden noch die bisher ungenutzten Nogat-Wasserkräfte ermöglichen, die unter Verwendung des hinreichend verfügbaren Weichselwassers ein bedeutsames Niederdruck-Kraftwerk darstellen könnten. Insbesondere würde ein Zusammenarbeiten mit den Kraftwerken des geographisch mit Danzig verbundenen Ostpreußens eine vorzügliche Energie-Wirtschaft schaffen. Alsdann könnte auch die Frage einer etwaigen Pumpspeicherung mit künstlichen Becken auf den Höhen vielleicht bei Löblau, in der Nähe vom Lappiner Kraftwerk mit rd. 150 m über dem Meeresspiegel, oder an anderen geeigneten Stellen (z. B. Mariensee mit + 188 m NN bis rd. 250 m NN) spruchreif werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Neuere Entwicklungen in den Seehäfen.

Von Dr.-Ing. ehr. F. W. Otto Schulze in Danzig-Langfuhr.

Wenn auch bei den äußeren Hafenwerken im Laufe der letzten Jahrzehnte kaum wesentliche Änderungen bemerkbar geworden sind und auch wohl nur eingetreten sind, soweit neuere und vollkommenere Maschinen und bessere Baustoffe die bisherigen Bauweisen beeinflussen, so macht sich im Gegensatze dazu bei den inneren Hafenteilen, den Hafenbecken, den Ufern und den anschließenden Landflächen allerhand Neues bemerkbar, über das ein kurzer, zusammenfassender Überblick wohl verlohnen dürfte.

Naturgemäß erhalten die Hafenbecken der Zunahme der Schiffsgrößen entsprechend größere Breiten und Tiefen. Etwas anderes scheint es dagegen bei der Länge zu sein. Wo der Eisenbahnumschlag eine wesentliche Rolle spielt, dürfte mit einer Beckenlänge von rd. 1,8 bezw. rd. 1,7 km (Bremen Freihafen I und II)[1]) die obere Grenze erreicht sein und es im Hinblick auf schnelle Eisenbahnwagenzustellung erwünscht sein, nicht viel weiter als auf die Hälfte dieser Maße zu gehen.[2])

Auch bei den Breiten empfiehlt es sich nicht nur das unbedingt erforderliche Maß zu wählen, sondern mit Rücksicht auf größere Schiffsbreiten und andere mögliche Gruppierungen der See- und Binnenschiffskörper weiter zu gehen.

Bei dem Bau der Ufereinfassungen für große Seeschiffe herrschen die altbewährten Kaimauern vor und nur nach und nach treten an Stellen, wo weniger große Schiffe verkehren, Bollwerke aus Eisenbeton oder aus eisernen Spundwänden auf. Durch die mit ihnen verbundenen, bei größeren Tiefen recht ausgedehnten Verankerungen benachteiligen sie immer recht unangenehm die freie Verfügung über das Hintergelände.

Für die Kaimauern finden nach wie vor die verschiedenartigsten Gründungsweisen Verwendung; als neue Bauweise gewinnt die Anwendung schwimmender Eisenbetonsenkkasten mehr und mehr Anhänger, übrigens auch bei den Molenbauten, da sie durch den fast völligen Fortfall der Unterwasserarbeit eine tadellose Ausführung der Bauten sichert und bei entsprechender Organisation ein schnelles Bauen gestattet. Auch scheint sie für größere Tiefen die gegebene Bauweise zu werden, da es immer schwieriger wird, die große Anzahl genügend starker und langer Pfähle für Pfahlrostgründungen zu beschaffen.

Ein Umstand ist jedoch bei einer Anzahl neuerer Kaimauern bemerkenswert, das ist die vollkommen lotrechte Begrenzungslinie. Sie zeigen z. B. die Königsberger,[3]) Bremer Kaimauern[4]) u. a. Dadurch wird erreicht, daß bei Anwendung fester oder beweglicher Überwasserfender jede Berührung der Schiffskörper mit den unter Wasser liegenden Teilen der Kaimauern vermieden wird und die Schiffe dichter an die Kaimauern heranrücken. Bei den älteren Mauerformen, die aus statischen Gesichtspunkten etwas nach hinten geneigt sind, ist dies nur schwierig und nicht immer sicher zu erreichen.

Eine mit der Zunahme der Schiffsgrößen nötige vollkommenere Ausbildung der Schiffshalteringe, Poller und Dalben sei nur nebenher erwähnt.

Wendet man sich nun der Ausbildung der durch die Ufereinfassungen begrenzten Landflächen, den Kaiflächen, zu, so ist auch da neben Althergebrachtem manches Neue zu beobachten.

Zur Ausstattung der Kaiflächen gehören der Hauptsache nach Gleise, Straßen, Schuppen und Speicher.

Bei der Gleisausstattung der Kaiflächen ist in den letzten Jahrzehnten eine immer umfangreichere Verwendung von Gleisen bemerkbar. Mehr und mehr bricht sich die Erkenntnis Bahn, daß die Gleisanlagen so vollkommen sein müssen, daß die Zustellung und Abholung der Güterwagen in den Arbeitspausen reibungs- und restlos vor sich gehen kann, daß jedenfalls das, was die Hafeneinrichtungen an Umschlagsmengen ermöglichen, auch durch die Eisenbahn bewältigt werden kann.[5]) Hierfür hat sich allmählich eine bestimmte Form der Gleisanordnungen herausgebildet, die sich mehr und mehr einbürgert. Die Gleise einzelner Hafenbecken werden zu Gruppen zusammengefaßt, die von einem zugehörigen Bezirksbahnhof bedient werden, der seinerseits mit dem Haupthafenbahnhof in Verbindung steht. In den Bezirksbahnhöfen laufen die im Hafenbahnhof nach den einzelnen Kais geordneten Züge ein und werden, soweit erforderlich, zunächst in Stumpfgleisen, für die sich vorhandene Zwickel gut benutzen lassen, nach Ladestellen geordnet und nach Abholung der abgefertigten Wagen zugestellt.

Bei dieser Anordnung nehmen die zum Hafen gehörenden Gleise einen bedeutenden Platz ein, alle Bewegungen geschehen über Weichen, gestatten also ganze Wagenreihen zuzustellen bezw. abzuholen. Welch ein Fortschritt gegenüber zahlreichen älteren Häfen, besonders des Auslandes, wo wenige Gleise das Hafengelände durchziehen und mit Drehscheiben einzelne Wagen gewissermaßen tropfenweise an die Verwendungsstellen gelangen lassen.

Selbstredend muß der Umfang der Gleisausstattung der einzelnen Häfen dem Charakter des jeweiligen Hafenverkehrs angepaßt werden. Er wird geringer sein, wo zahlreiche Schiffe auf dem Strom liegen und in Binnenschiffe und Leichter umschlagen, und um so größer werden, je ausschließlicher die Zu- und Abfuhr der Güter durch die Eisenbahnen geschieht. Dem Kundigen verrät die Grundrißgestaltung eines Hafens ohne weiteres, welche Art des Verkehrs überwiegt. Da der Hafen die Umlademaschine zwischen Land- und Seeverkehr ist, so wird sie um so vollkommener arbeiten, je inniger die jeweiligen Hauptlandverkehrswege mit den Seeschiffen in Berührung gebracht werden. Je nach der Örtlichkeit sind dies die Eisenbahngleise, die Landstraßen oder die Binnenschiffverkehrswege, Flüsse oder Kanäle.

Bezüglich der letzteren sei das Bestreben hervorgehoben, die Binnenschiffswege so an die Seehäfen heranzuführen, daß die Binnenschiffe von oben her in die Hafenbecken gelangen und ihren Weg nicht mit denen der Seeschiffe kreuzen. Hieraus ergibt sich von selbst die getrennte Anlage von Binnenschiffshäfen. Beides ist z. B. in Hamburg folgerichtig durchgeführt worden.

Werden, wie oben erwähnt, die zu einem Hafenbecken gehörenden Gleise zu einer Bezirksgruppe vereinigt, so ist es ein leichtes, die Straßen zwischen diesen Gruppen ohne Gleiskreuzungen auf die Mitten der Kaizungen heranzuführen. Sie können dann in üblicher Weise auf Freiladeplätze, auf eingepflasterte Gleisstrecken, auf die Stirnseite der Schuppen oder auch durch besondere Einfahrten in die Schuppen hinein, wie z. B. in Stettin und Bremen, geführt werden.[6]) Neuerungen sind hier im wesentlichen bei der Ausgestaltung der einzupflasternden Gleise zu verzeichnen. Zur Querverbindung der Kaigleise zwischen den Schuppen, die bei Feuersgefahr nützlich sein kann, finden vorteilhaft Schiebebühnen Verwendung.

Außer den Verkehrswegen haben die Schuppen und Speicher (Lagerhäuser) sowie ihre mechanische Ausstattung für die Umschlagsleistung jedes Hafens besondere Bedeutung.

Die Erkenntnis, daß der Kaischuppen lediglich der große Sortiertisch ist, auf dem die ankommenden oder abgehenden Güter ausgebreitet werden, damit über sie weiter verfügt werden kann, und nicht etwa als Lagerschuppen benutzt werden darf, wie es an einzelnen Ostseehäfen lange Zeit Gewohnheit war, hat sich jetzt wohl allgemein durchgesetzt. Damit hängt weiter das Bestreben zusammen, die in einem Schiff übereinandergestapelten Waren möglichst auf einer Schiffslänge auszubreiten, und die daraus folgende Notwendigkeit zur Verbreiterung und Verlängerung der Schuppen. Bei ersterer sind Maße von 30 m heute durch solche von 60 bis 75 m ersetzt worden,[7]) und bei letzteren sind, um möglichst verschiedenartigen Gruppen von Schiffslängen entsprechen zu können, Längen von 400 m nichts Seltenes mehr. Der moderne Kaischuppen ist gewissermaßen eine ausgedehnte, überdeckte Kaifläche, unter deren Schutz sich der gesamte Kaiverkehr gegen Witterungsunbill und Diebstahl geschützt abspielt, wozu auch an manchen Orten der Eisenbahn- und Wagenverkehr mit unter die Dächer gezogen wird.[8]) Dabei ist die Stützenfreiheit der Schuppenfläche von besonderer Bedeutung; während früher etwa 100 m² Schuppenfläche auf eine Stütze entfielen, sind es heute schon 400 m².

In solchen Fällen bleibt naturgemäß der Schuppenfußboden in der allgemeinen Höhe des Geländes, es kommt aber auch vor, daß er geneigt angeordnet wird und landseitig zur Ladebühnenhöhe ansteigt.

Wo der Schuppenboden wagerecht in Ladebühnenhöhe angelegt wird, erfährt die hafenseitige Ladebühne eine besondere Bevorzugung und wird oft 5 m und breiter angelegt. Ob zwischen der Kaikante und der hafenseitigen Ladebühne 1, 2 oder 3 Gleise oder keine angeordnet werden — ein alter Meinungsstreit der Hafenverwaltungen — hängt von der besonderen Zweckbestimmung des Kais und von der allgemeinen Bedeutung des Eisenbahnumschlags für den Hafen ab. In manchen selteneren Fällen werden auch 2 bis 3 Gleise an der Landseite der Schuppen genügen und die Ladebühnen an der Hafenseite bis zur Kaikante durchgeführt werden können.

---

[1]) Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft 1926.

[2]) W. Cauer, Eisenbahnausrüstung der Häfen, Berlin 1921, Verlag von Julius Springer.

[3]) F. W. Otto Schulze, Seehafenbau, Bd. 2. S. 216 u. 218. Berlin 1913, Wilhelm Ernst & Sohn.

[4]) Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft 1926, S. 116—119.

[5]) W. Cauer, Eisenbahnausrüstung der Häfen, Berlin 1921, Springer. — A. Hirsch, Zur Eisenbahnausrüstung von Häfen, Verkehrstechnische Woche 1921, S. 211. — G. Fabricius, Bebauungspläne für Seehäfen, Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft 1922/23, S. 79.

[6]) Fr. Krause, Neue Hafenanlagen in Stettin, Zeitschr. f. Bauwesen 1899, S. 58 u. Atlas, S. 12 bis 14.

[7]) Vergl. Bremen, Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft 1926, S. 133 u. f.

[8]) Bunnies u. Bolle, Über englische Handels- und Fischereihäfen, „Die Bautechnik“ 1929, Heft 15, S. 223 u. f.

Bei dem schnellen Heraus- bezw. Hereinströmen der Güter an der kaiseitigen Schuppenwand ist es wünschenswert, diese technisch so auszubilden, daß dieser Bewegung keine Hindernisse entgegenstehen. Man erreicht dies durch die Verwendung von mehrteiligen Schiebetoren und kann dann die Hälfte bis Zweidrittel der Schuppenfront freimachen. Noch besser wäre es, wenn man auch in Deutschland mehr an die in Amerika gebräuchlichen Jalousietore[9]) herangehen würde, wodurch mit Ausnahme der Binderstützen die ganze Schuppenfront freigemacht werden könnte. Für die Öffnungen der landseitigen Wand genügen meist die im Eisenbahnverkehr bei Güterschuppen üblichen Tore. Aus all diesem geht eindeutig hervor, daß es bei den Kaischuppen im allgemeinen auf eine möglichst ausgebreitete Plattform ankommt, die von allen Seiten zugänglich ist und deren Rente durch eine möglichst häufige Benutzung erzielt wird.

Im Gegensatze hierzu stehen die Lagerhäuser oder Speicher, wo die Güter länger verweilen, bisweilen auch noch besonders behandelt werden.

Am günstigsten werden sie unmittelbar hinter den Kaischuppen und auch in gleicher Länge angeordnet, wie das u. a. in Bremen und Stettin geschehen ist, damit die Wege für das in den Kaischuppen ausgeschiedene Lagergut möglichst kurz ausfallen. Wo jedoch, wie in Hamburg, der größte Teil der Güter in Leichterfahrzeuge (Schuten) umgeschlagen wird, kann auch eine Zusammenfassung des gesamten Lagerwesens getrennt vom Kaibetrieb zweckmäßig und wirtschaftlich sein.

Wegen der Notwendigkeit, den einzelnen Lagerabteilungen genügend Licht und Luft zuzuführen, bleibt im Gegensatze zu den Kaischuppen die Breite der Lagerhäuser meist auf 20 bis 30 m beschränkt. Dagegen wird die Anzahl der Stockwerke, um aus der benutzbaren Bodenfläche eine genügende Rente herauszuholen, erheblich vermehrt. Infolge der starken Vervollkommnung der mechanischen Hebezeuge sind heute acht Stockwerke und mehr wohl möglich.

Die Heranführung der Landverkehrswege an die Speicher hat naturgemäß bei diesen eine noch größere Bedeutung als bei den Kaischuppen.

In der Regel wird zwischen Kaischuppen uud Lagerhaus eine breite Straße angeordnet, während landseitig des Speichers zahlreiche Gleise Platz finden sollten. Unter den zur Verwendung kommenden Baustoffen hat in neuerer Zeit der Eisenbeton eine immer größere Beliebtheit erworben, wodurch auch die erforderliche Feuersicherheit gewährleistet wird.

Bei der Gestaltung der Lagerhäuser wird mehr und mehr den besonderen Anforderungen der jeweiligen Lagergüter durch Sonderbauweisen Rechnung getragen. Überwiegend sind auch heute noch Bodenspeicher wegen ihrer beliebigen Verwendbarkeit für verschiedene Güterarten. Zellenspeicher bleiben auf bestimmte, lagerfeste Waren wie Getreide, Kohle usw. beschränkt. Bisweilen findet man auch eine Vereinigung beider Lagerweisen in einem Gebäude. Die Lagerung von Gefrierfleisch, Eiern, Butter u. a. macht die Ausbildung einzelner Speicher oder Abteilungen zu Kühlhäusern erforderlich.

Während die bisher behandelte klare Trennung zwischen Schuppen und Lagerverkehr für Hafenanlagen mit genügender Ausdehnungsmöglichkeit zweifellos das Empfehlenswerteste ist und nach Möglichkeit erstrebt werden sollte, hat man in neuerer Zeit in Häfen mit beengteren Verhältnissen auch mehrstöckige Kaischuppen angelegt und damit die Frage der Zweckmäßigkeit der ein- oder mehrstöckigen Kaischuppen zum Gegenstande vielfacher Erörterungen gemacht.[10]) Ohne auf die hierüber erschienenen interessanten Abhandlungen näher einzugehen, kann doch festgestellt werden, daß die klare Trennung des Umschlag- und Lagerverkehrs im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit die zweckmäßigste Anordnung bleibt. Nur wenn besondere Umstände dazu zwingen, sollte man eine Vermischung beider Verkehrsarten zulassen, die dann immer auf Kosten der Leistungsfähigkeit geschehen wird.

Wohl läßt sich z. B. bei zweistöckigen Schuppen beim Löschen und Laden durch Anordnung einer genügend breiten, oberen, hinter die untere zurücktretenden Ladebühne, auf die die Güter ungehindert abgesetzt oder von der sie aufgenommen werden, der Verkehr mit dem Seeschiff in beiden Stockwerken reibungslos gestalten; sobald es sich dann aber um die Weiterbeförderung der Güter aus dem oberen Stockwerk handelt, ist eine Durchdringung und Störung des Verkehrs von dem unteren Stockwerk nach der Eisenbahn bezw. Straße nicht zu vermeiden. Es wird sich infolgedessen ganz von selbst ergeben, daß man das obere Stockwerk mehr mit Lagergütern belegt. Noch mehr wird dies der Fall sein, wenn noch ein drittes oder viertes Stockwerk hinzukommt. Nicht unbeachtet darf bleiben, daß die Lagerfläche jedes höheren Stockwerks durch das notwendige Zurücktreten der Ladebühne immer kleiner wird und daß ferner die Baukosten eines zweistöckigen Schuppens kaum geringer werden als die von zwei einfachen. Dies liegt daran, daß man bei den gewöhnlichen Kaischuppen auch bei ungünstigem Baugrund in der Regel nur die Umfassungswände und die Bedachung künstlich zu fundieren hat und den Schuppenboden auf das mit einer Sandschicht versehene Gelände legen kann. Ganz anders liegt es bei jedem mehrgeschossigen und auch schon bei den zweistöckigen Schuppen, wo das gesamte Gewicht der oberen Decke nebst ihrer Belastung mit auf die künstlich gegründeten Pfeiler übertragen werden muß, wodurch in der Regel große Mehrkosten entstehen werden, wenn nicht, wie es in Häfen selten der Fall zu sein pflegt, besonders günstiger Baugrund vorhanden ist.

Häufig wird ferner bei zweigeschossigen Schuppen die doch einmal erforderliche künstliche Fundierung durch nur zwei Geschosse nicht genügend ausgenutzt. Bei mehrgeschossigen Schuppen fällt naturgemäß der Vorteil der natürlichen Beleuchtung für die unteren Stockwerke fort.

Ein interessantes Ergebnis der geschilderten neueren Bestrebungen zur Vereinigung von Schuppen und Speicher bildet der soeben vollendete Schuppenspeicher in Stettin,[11]) der außer einem 3,54 m hohen Kellergeschoß ein in Ladebühnenhöhe liegendes 5 m hohes Schuppengeschoß und darüber noch 3 Obergeschosse von 3,10 m Höhe und ein Dachgeschoß von 4 m enthält. Das ganze Gebäude besitzt bei 210 m Länge im Erdgeschoß eine Breite von 40,25 m und ist auf Pfahlrost gegründet.

Eine Trennung von Schuppenverkehr und Lagereibetrieb soll dadurch erreicht werden, daß für jeden Betrieb getrennte mechanische Hebe- und Absetzeinrichtungen geschaffen worden sind.

So sind für den Kaiverkehr 8 Halbtorkrane (Einziehkrane) aufgestellt worden, für den Lagereiverkehr dagegen dienen drei gewaltige fahrbare Dachbrücekn, auf denen elektrische Drehkrane laufen, die das Lagergut auf den wasser- und landseitig angebrachten, aufklappbaren Ladeklappen aufsetzen bezw. von ihnen abnehmen können. An der Kaiseite sind 2 Gleise, an der Landseite jedoch 3 Gleise vorgesehen; von den letzteren sind die beiden äußeren Ladegleise und das mittlere Durchlaufgleis, das am Schuppen gelegene dient dem Schuppenverkehr, das äußere dagegen zur Verladung von Lagergut. Um hierbei den Schuppenverkehr nicht zu behindern, ist zwischen dem äußeren Gleis und der Straße eine 4 m breite Ladebühne errichtet worden, auf die die Dachkrane das Lagergut absetzen, so daß es entweder auf die Eisenbahn oder auf Straßenfuhrwerke umgeschlagen werden kann. Dem Verkehr innerhalb des Gebäudes dienen ferner 4 Haupt- und 2 Nottreppen, sowie 4 Lastaufzüge und 2 Sackrutschen. Das Kellergeschoß ist durch Kellerklappen zugänglich.

Als Veranlassung zu dieser neuartigen Lösung der Schuppen- und Speicherfrage war die Aufgabe anzusehen, auf einem gegebenen Raume möglichst viel Schuppen- und Speicherfläche zu gewinnen.

Wenn auch bei den bisher beschriebenen unbeweglichen Teilen der Seehäfen neuere Richtungen und Entwicklungen nur langsam Platz greifen, so ist doch deutlich erkennbar, daß sie vorhanden sind. Meist haben sie auch gewaltige Kostenaufwendungen im Gefolge, so daß ein zögerndes Vorgehen der Hafenverwaltungen durchaus verständlich ist. Anders ist es jedoch bei den mechanischen Hafeneinrichtungen, wo die Ergebnisse der neuzeitlichen Fördertechnik schneller zur Einführung gelangen, zumal der hier sofort sichtbare unmittelbare Erfolg in der Leistung viel eher zu ihrer Anschaffung verlockt.

Für den Umschlag an der Kaikante vom Seeschiff an Land auf Eisenbahnwagen oder Schuppenbühne und umgekehrt hat der 2 bis 3 Gleise überbrückende, fahrbare Halbtor- oder Ganztorkran eine immer weitergehende Anwendung erfahren. Von dem anfangs hydraulischen Antrieb ist man heutzutage meist zu elektrischer Bewegung übergegangen, obgleich es auch heute noch Betriebsfachleute gibt, die gewisse Vorzüge des hydraulischen Betriebs schätzen und bevorzugen.[12]) In der Ausbildung dieser Torkrane sind besonders in neuerer Zeit wesentliche Fortschritte gemacht worden. Bei den älteren Formen war es ein Übelstand, daß der Ausleger fest war und der Lasthaken nur einen durch die Auslegerweite ein für allemal festgelegten, schmalen Kreisring bedienen konnte. Dieser Umstand machte den Platz innerhalb dieses Kreises für den Kranhaken unerreichbar, so daß der unter den Torgestellen befindliche Platz der Kaiflächen unbenutzbar blieb.[13])

Zur Beseitigung dieses Übelstandes schuf man in Hamburg die sogenannten Doppeltorkrane, bei denen an dem Krangestell eine verschiebliche Fahrbahn angebracht war, an der eine Laufkatze lief. Durch Verdoppelung dieser Einrichtung gelang es sogar, Dreifachtorkrane herzustellen, durch die auf derselben Strecke, wo früher nur ein Hebezeug arbeitete, jetzt drei zum Angriff kamen.

---

[9]) E. Förster, Nordamerikanische Seehafentechnik, Werft, Reederei, Hafen 1925, S. 503 u. f.

[10]) Vergl. E. Förster sowie Bunnies u. Bolle wie oben, ferner H. Brockmann, Über die Möglichkeit wirtschaftlicher Betreibung mehrstöckiger Umschlagschuppen im Hamburger Hafen, Hannover 1927, und A. Bolle, Die Wirtschaftlichkeit eingeschossiger Umschlagschuppen im Hamburger Hafen, Zentralbl. Bauverw. 1929, S. 23.

[11]) Zentralbl. Bauverw. 1929, S. 70. Weiterer Ausbau des Stettiner Hafens.

[12]) P. Sievers, Hydraulische Hebezeuge, Mitteilungen des Hamburger Bezirksvereins deutscher Ingenieure, 1926, Nr. 5.

[13]) Demag-Nachrichten 1928, S. 25; Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft S. 148.

Die Ausleger der Drehkrane blieben aber weiter fest, wodurch das enge Zusammenrücken mehrerer Krane sehr behindert wurde. Es war z. B. mit diesen Kranen kaum möglich, zwei von ihnen auf eine Schiffsluke arbeiten zu lassen.

Hier schufen die in den letzten Jahren von den deutschen Kranbauanstalten in verschiedener Weise durchgebildeten Wipp- oder Einziehkrane eine vorzügliche Abhilfe. Der Ausleger der Drehkrane wurde beweglich gemacht und dadurch die Möglichkeit gewonnen, die gesamte durch die größte Auslegerweite begrenzte Kreisfläche, soweit sie nicht unter dem Fahrgestell lag, an jeder beliebigen Stelle mit dem Lasthaken zu erreichen. Durch geschickte Konstruktionen gelang es sogar, die Krane so auszubilden, daß der Lastweg während der Einziehbewegung ein wagerechter blieb, so daß infolge der geschickten Anordnung von Gegengewichten für das Einziehen nur geringer Kraftaufwand für Beschleunigungskräfte, Wind- und Reibungswiderstände erforderlich wurde.

In diesen Einziehkranen ist für die Häfen ein Hebegerät geschaffen worden, das allen möglichen Anforderungen entspricht; es gestattet fast doppelt soviel Krane als bisher auf ein Schiff anzusetzen. Auch können diese Krane den festen aufragenden Teilen der Schiffe leichter ausweichen als bisher. Die Wippeinrichtung hat auch besondere Bedeutung für den Wasserumschlag bei den Schwimmkranen.

Für die Bewegung im Kaischuppen war lange Zeit hindurch der altbewährte Stechkarren das einzige Hilfsmittel. Es lag ja nahe, ihn durch Schwebebahnen zu ersetzen, die den ganzen Schuppen und die Ladebühnen überziehen, wie es in einigen amerikanischen Häfen geschehen ist.[14]) Aber da eine solche Anlage fest eingebaut werden muß, führt sie zu einer Einrichtung, die bei bedeutenden Anlagekosten nur verhältnismäßig wenig ausgenutzt werden kann. Bei den Kaikranen spielt dieser Umstand ebenfalls eine Rolle, wird aber durch ihre Fahrbarkeit etwas ausgeglichen. Infolgedessen haben unsere Hafenverwaltungen solchen Anlagen gegenüber eine große Zurückhaltung bewahrt. Dagegen ist durch die Einführung von Elektrokarren gegebenenfalls mit Anhängern die leichtere Bewegung der Güter von den Ladebühnen in den Schuppen und umgekehrt erreicht worden. Die höhere Stapelung der Güter und dadurch die stärkere Ausnutzung der Schuppenfläche ist durch fahrbare Schuppenkrane und auch durch Band- und Sackförderer verschiedener Art bewirkt worden, so daß der Schuppenbetrieb heutzutage ein ganz anderer als zur Zeit der Herrschaft des Stechkarrens geworden ist.

Auf der Landseite der Kaischuppen haben zumeist ebensolche Halb- oder Ganztorkrane wie an der Kaiseite Verwendung gefunden, um die Güter von der Ladebühne in Eisenbahnwagen, auf Straßenfuhrwerke oder vorkommendenfalls auf die Ladeklappen der Speicherstockwerke zu setzen. Wo Schuppen und Speicher hintereinander stehen, lediglich durch mehrere Gleise und eine Straße getrennt, hat man zur Überbrückung dieses Raumes fahrbare wagerechte oder geneigte Brücken vorgeschlagen, auf denen sich Drehkrane oder Laufkatzen bewegen. Durch letztere wird besonders das hinderliche Pendeln der Last am Kranhaken vermieden, wenn die oberen Speicherstockwerke zu bedienen sind.

In den Lagerhäusern spielen nach wie vor die Lastaufzüge in Verbindung mit Elektro- oder anderen Karren das Hauptbewegungsmittel für die Güter. Geeignetenfalls können Sackförderer oder Sackrutschen hinzukommen. Auch Stapelmaschinen können nützlich sein, um größere Stapelhöhen zu erreichen.

Große Fortschritte sind in neuerer Zeit auch bei der Bewegung der Massengüter gemacht worden.[15]) Für Getreide bewähren sich nach wie vor die Becherwerke und Bandförderer, mit denen ganze Lagerhäuser durchzogen werden, so daß es möglich ist, das ankommende Getreide — sei es mit dem See- oder Binnenschiff bzw. mit der Eisenbahn — über selbsttätige Wagen, eine Verteilungsstelle oder auch nach dem Durchlaufen von Reinigungsmaschinen an jede beliebige Stelle des Speichers und umgekehrt zu leiten, ohne daß irgend eine Handarbeit erforderlich wird. In ähnlicher Weise arbeiten auch die Saugluft- (pneumatischen) Anlagen, die das Getreide mit zahlreichen Rüsseln aus den Seeschiffen aufsaugen und in geschlossenen Rohrleitungen bis an den Bestimmungsort führen, so daß es vor jedem unrechtmäßigen Zugriff gesichert ist. Hierfür sind z. B. in Bremen nnd in Genua besondere Landungsbrücken angelegt worden.[16])

Beide Förderarten haben auch in zahlreichen Ausführungen bei der Herstellung schwimmender Getreideheber für den Umschlag von Seeschiff zu Binnenschiff und umgekehrt Verwendung gefunden.

Für den Kohle- und Erzumschlag sind besondere fahrbare Verladebrücken mit Laufkatzen oder Drehkranen zur Bestreichung großer Lagerflächen angewendet worden, wobei die Greifer für immer größere Lasten und auch sonst vervollkommnet wurden. Ebenso sind immer neue Kohlenkipper herausgebildet worden; von dem einfachen Schwerkraftkipper bis zu dem Aufzug-, Schwing- oder Drehscheibenkipper ist ein erheblicher Weg zurückgelegt worden. Immer dringt das Bestreben hervor, der Kohle bei dem Umladen eine möglichste Schonung angedeihen zu lassen, wozu zwischengeschaltete Füllrumpf- und Teleskoprohre beitragen. Bei einer der neuesten Ausführungen in Danzig wird die Kohle durch Kipper in besondere Taschen geschüttet, von deren Boden sie auf Förderbänder gleitet, die in geneigter Richtung zum Kai emporsteigen und ihre Füllung an gleichlaufend mit dem Kai auf Stützen geführte Förderbänder abgeben, von denen es an beliebigen Stellen abgenommen und mit Hilfe von Förderbändern und Teleskoprohren in die Seeschiffe gleiten kann. Ein Vorteil dieser Einrichtung kann darin erblickt werden, daß die Kohle gut geschont wird und daß die Sammeltaschen eine gewisse Unabhängigkeit von der Zustellung der Eisenbahnwagen bewirken. Einem ähnlichen Ausgleichzweck dienen neuerdings bei Verladebrücken fahrbare, ein Gleis überbrückende Füllrümpfe, die ohne Unterbrechung durch Greifer mit Erz oder Kohle gefüllt werden und ihren Inhalt in daruntergefahrene Eisenbahnwagen abgeben.[17])

Aus vorstehendem erhellt zur Genüge, wie lebhaft die Entwicklung des Förderwesens in den Seehäfen in den letzten Jahren gewesen ist. Immer mehr wird danach gestrebt, die Umschlagzeiten durch mechanische Einrichtungen abzukürzen und dadurch den Aufenthalt der Schiffe im Hafen zu verringern, getreu dem alten Grundsatze: „Ein Schiff verdient nur, wenn es fährt!"

Im weiteren Sinne gehören zu den Seehäfen auch die zur Sicherheit der Schiffahrt bei Tage, Nacht und Nebel dienenden Seezeichen. Auf ihre neuere Entwicklung sei hier nur kurz hingewiesen.[18])

Durch die Einführung des Flüssiggases und des elektrischen Glühlichtes konnte die Lichtstärke der Leuchtfeuer erhöht werden, wobei für die elektrischen Feuer die Erfindung einer selbsttätigen Umschaltvorrichtung von Bedeutung war, die im Falle einer Stromunterbrechung eine Flüssiggasglühlampe an die Stelle der Glühbirne führt. Für die Orientierung bei Nebel wurden die in der Luft und unter Wasser abgegebenen Signale durch Einführung der elektrischen Membransender bedeutend verbessert, noch mehr gelang dies aber durch die Einführung der Funknebelsignale, die den mit Bordfunkpeilern ausgerüsteten Schiffen nicht nur die Richtungsbestimmung, sondern auch in Verbindung mit gleichzeitig von derselben Stelle ausgehenden Unterwasserschallsignalen in einfachster Weise die Abstandsbestimmung von der signalgebenden Stelle ermöglicht.[19])

[14]) E. Foerster, Nordamerikanische Seehafentechnik, Werft, Reederei, Hafen 1925, S. 742; sowie Elektro-Schwebebahn in Montevideo, Demag-Katalog „Der Hafen", S. 176 u. f.

[15]) Petzel-Behrends, Der Bau der Umschlaganlage für Kali in Harburg-Wilhelmsburg, „Die Bautechnik" 1928, S. 595, und „Beton u. Eisen" 1929, Heft 8.

[16]) Getreideanlage in Bremen, Jahrbuch d. Hafenbautechn. Gesellschaft 1926, S. 151.

[17]) Buhle, Neuerungen im Bau von deutschen Umschlaganlagen, „Die Bautechnik" 1924, S. 125.

[18]) Vergl. „Die Bautechnik" 1929, S. 63 u. S. 272.

[19]) Jahrbuch d. Gesellschaft f. Bauingenieurwesen 1928.

Alle Rechte vorbehalten.

Der Schwebelift, eine neue Bauweise von Luftseilbahnen.

Von Prof. **Richard Petersen**, Danzig.

Seit 1921 habe ich an der Technischen Hochschule Danzig eine Reihe von Modellversuchen durchgeführt, aus denen sich eine neue Bauweise von Luftseilbahnen ergeben hat.

Meine Arbeiten wurden unterstützt durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, die Gesellschaft der Freunde der Technischen Hochschule Danzig, den Eisenbauverband, die Siemens-Bauunion, die Siemens-Schuckertwerke, die E. A. vormals Schuckert & Co. und den Senat der Freien Stadt Danzig. Für diese Unterstützung schulde ich um so größeren Dank, als sich von vornherein nicht beurteilen ließ, ob bei den Versuchen etwas Nützliches herauskommen würde.

Im folgenden sollen nur die wesentlichen Ergebnisse mitgeteilt werden. Rückwärts betrachtet, sieht die Sache einfach aus, vorwärts war der Weg recht mühselig und mit manchen Fehlgängen verbunden.

Bekanntlich sind die Luftseilbahnen, wie sie namentlich in Deutschland durch die Firmen Bleichert, Pohlig, Heckel entwickelt wurden, ein ganz ausgezeichnetes Fördermittel. Große Leistungsfähigkeit und Betriebsicherheit bei niedrigen Anlagekosten und billigem Betrieb zeichnen insbesondere die Lastenförderbahnen für Kohlen, Erze und dergleichen aus. Ihnen ist eigentümlich, daß die zu fördernden Lasten auf viele kleine Ladungen verteilt werden, die einander in kurzen Abständen folgen.

Die Bahn ist ein über Stützen durch die Luft geführtes straff gespanntes Tragseil, eins für die Hinfahrt, eins für die Rückfahrt, auf dem die Räder der hängenden Fahrzeuge laufen. An den Enden der Bahn sind in der Regel mit Weichen feste schleifenförmige Gleise abgezweigt, die auf der einen Seite zur Ladestelle, auf der andern Seite zur Entladestelle führen. Die Fahrzeuge werden mit einer Klemme an ein gleichmäßig umlaufendes Zugseil angeklemmt, wenn sie von der Ladestelle auf das Tragseil übergehen. Die Klemme wird gelöst, wenn die Fahrzeuge am anderen Ende der Bahn das Tragseil verlassen.

Das Gewicht des beladenen Fahrzeuges erreicht bei zweirädrigem Laufwerk $\approx 1{,}4$ t, bei vierrädrigem Laufwerk $\approx 2{,}5$ t.

Derartige Luftseilbahnen für Lastenförderung sind in großer Zahl in Betrieb und besonders wertvoll in schwierigem Gelände, in dem die gewöhnlichen Bauweisen der Eisenbahnen unausführbar sind. Auch für den Personenverkehr im Gebirge hat sich die Luftseilbahn gut bewährt. Die neuere Entwicklung ist besonders durch die Firma Bleichert in Verbindung mit Zuegg gefördert worden (Meran—Hafling, Zugspitzbahn, Kreuzeckbahn usw.). Die größten Spannweiten überschreiten 1000 m beträchtlich.

Für bestimmte Geländeverhältnisse und gewisse Verkehrsgrößen ist die Luftseilbahn unübertroffen. Ihr Anwendungsgebiet wird hinsichtlich der zulässigen Nutzlasten und Spannweiten durch den Schwebelift erweitert werden.

Die bisherigen Personenluftseilbahnen unterscheiden sich bereits grundsätzlich von den Lastenluftseilbahnen. Bei den Lastenbahnen liegt ein besonderer Vorteil darin, daß die Ladung auf viele kleine Fahrzeuge verteilt wird, die in gewissem Abstande hintereinander her fahren. Dieser Umlaufbetrieb ist aber bisher für Personenluftseilbahnen von den Aufsichtsbehörden nicht zugelassen worden. Eine erste Ausführung ist allerdings bei der geplanten Schauinslandbahn im südlichen Schwarzwald bei Freiburg nach den Vorschlägen der Firma Heckel beabsichtigt.

Die Bedenken der Aufsichtsbehörden richteten sich gegen die Lösbarkeit der Klemme, die das Fahrzeug mit dem Zugseil verbindet. Die Verbindung erschien den Behörden namentlich bei steiler Neigung der Bahn nicht genügend zuverlässig. Sie forderten eine unlösbare Verbindung zwischen Fahrzeug und Zugseil. Damit wird aber der Umlaufbetrieb, der den Lastenbahnen eigen ist, für die Personenbahn unmöglich. Denn man kann nicht immer nach etwa 100 m Fahrt die ganze Anlage stillsetzen, um einige Fahrgäste aufzunehmen oder abzusetzen. Beim Umlaufbetrieb besteht ferner eine große Schwierigkeit, die sonstigen Sicherheitseinrichtungen, die beim Personenverkehr nötig sind, zweckmäßig auszubilden, wie Rubin ausführlich dargelegt hat[1]).

Bei den bisher ausgeführten Personenbahnen befindet sich auf jedem der beiden Stränge ein Fahrzeug. Ein umlaufendes Zugseil verbindet die Fahrzeuge miteinander und mit der Antriebmaschine. Die Fahrzeuge werden mit dem Zugseil zwischen den Endhaltestellen im Pendelbetrieb hin und her bewegt und fahren nicht um die Endhaltestellen herum. Statt vieler kleiner und leichter Fahrzeuge tritt nunmehr auf jedem Strang ein größeres und schwereres Fahrzeug.

Leider kann das Gewicht und damit der Fassungsraum des Fahrzeuges nicht beliebig vergrößert werden.

Die Bahn Meran—Hafling hatte bei etwa 1700 m größter Spannweite Fahrzeuge für etwa 10 Fahrgäste, also für etwa 0,8 t Nutzlast, 0,9 t Leergewicht und etwa 1,7 t Vollgewicht.

Die Zugspitzbahn hat bei rd. 1200 m Spannweite Fahrzeuge für 20 Personen, also 1,6 t Nutzlast, 1,1 t Leergewicht, rd. 2,7 t Vollgewicht. Die Fahrtdauer beträgt 20 Minuten. In der Stunde können also 60 Fahrgäste in jeder Richtung befördert werden.

Die Kreuzeckbahn hat Wagen für 25 Personen, also rd. 2,0 t Nutzlast bei 1,25 t Leergewicht und rd. 3,25 t Vollgewicht.

Einer weiteren nennenswerten Steigerung der Nutzlast bezw. des Fahrzeuggewichtes stehen bei der bisherigen Bauweise der Luftseilbahnen große Schwierigkeiten entgegen, da man den Querschnitt des Tragseils nicht beliebig vergrößern kann. Jedenfalls erscheint die 5- bis 10fache Last für absehbare Zeit bei den bisherigen Bauweisen ausgeschlossen.

Der Schwebelift bietet die Möglichkeit, derartige Lasten aufzunehmen.

Die Beschränkung des Fahrzeuggewichtes bei der bisherigen Luftseilbahn ist begründet in den Biegungsspannungen des Tragseils, die unter den kleinen Rädern des Fahrzeuges und über den Auflagern der Zwischenstützen auftreten. Bei den Lastenbahnen hatte man bereits aus der Erfahrung die Erkenntnis gewonnen, daß straff gespannte Tragseile größere Lebensdauer zeigten als lose gespannte.

Aus dieser Erfahrung hatte man die Regel abgeleitet, daß man die Tragseile mindestens mit einer Kraft gleich dem 20fachen des Fahrzeuggewichtes anspannen müsse, um große Lebensdauer der Tragseile zu erhalten.

Die Fahrzeuge hatten zwei Laufräder. Die Seilkraft wurde also mindestens gleich dem 40fachen des Raddruckes.

[1]) Z. d. V. d. I. 1926, S. 1758.

Inzwischen ist die theoretische Erkenntnis um ein beträchtliches gefördert worden durch die grundlegenden Versuche und Arbeiten von Benoit[2]) und Woernle[3]) über die Biegungsspannungen in Drahtseilen. Sie wiesen nach, daß darüber völlig irrige Auffassungen in der Fachwelt bestanden hätten und daß insbesondere durch das Flechten der Drähte zum Seil keine Verringerung ihrer Biegungsspannung eintritt. Immerhin führte diese Arbeiten zum Schluß, daß man den Seilen wesentlich größere Zugspannungen, als bisher von den Behörden genehmigt waren, zumuten könne und daß dies sogar bei angemessener Verkleinerung der Biegungsspannung zweckmäßig sei.

Diese Arbeiten brachten die theoretische Erklärung für das bereits genannte Erfahrungsergebnis über ein günstiges Verhältnis zwischen Seilkraft und Fahrzeuggewicht.

Zuegg[4]) und der Firma Bleichert gebühren das Verdienst, aus den wissenschaftlichen Arbeiten von Benoit und Woernle die erste praktische Anwendung bei der Bahn Meran—Hafling gezogen zu haben. Die folgenden kühnen Bahnbauten der Firma Bleichert zeigen die weitere Auswertung dieser neuen Erkenntnis.

Eine Vergrößerung des Wagengewichts wurde möglich durch Vermehrung der Räder. Die neueren Personenluftseilbahnen haben acht hintereinander laufende Räder, die durch Wagebalken miteinander so verbunden sind, daß die Raddrücke gleich groß werden.

Für Personenluftseilbahnen begrenzen die österreichischen Behörden den Raddruck neuerdings auf $^1/_{70}$ der Seilkraft, die bayerischen Behörden auf $^1/_{100}$. Ausreichen dürfte in manchen Fällen wohl $^1/_{50}$, auch wenn man der Ansicht beipflichtet, daß bei Personenbahnen schärfere Forderungen zu stellen sind als bei Lastenbahnen. Erfahrungsgemäß kommen Drahtbrüche in den Tragseilen weniger auf der freien Strecke als vielmehr in der Nähe von Zwischenstützen vor an Stellen, wo die Zugspannung der Tragseile nicht den Größtwert erreicht.

Im folgenden sei:

V = Raddruck des Fahrzeuges,
S = Seilkraft des Tragseils,

(1) $$q = \frac{V}{S} \quad \text{oder} \quad V = q \cdot S,$$

ϱ = Krümmungshalbmesser des Tragseils unter dem Rade des Fahrzeuges,
δ = Dicke der Drähte, aus denen das Tragseil geflochten ist,
E = Elastizitätsmaß ≈ 2150 t/cm²,
σ_z = Zugspannung der Drähte des Tragseils in t/cm²,

so ist angenähert (umgeformt aus der grundlegenden Arbeit von Isaachsen)[5])

(2) $$\frac{2\varrho}{\delta} = \frac{1}{q}\sqrt{\frac{E}{\sigma_z}}.$$

Die Drähte (Tiegelgußstahl) haben eine Bruchfestigkeit von etwa 12 bis 18 t/cm².

Der Krümmungshalbmesser ϱ des Tragseiles unter dem Raddruck V berechnet sich nach Tafel 1.

Tafel 1.

	$\sigma_z =$	1	2	3	4	5	6	t/cm²
$q = \frac{1}{100}$	$\frac{2\varrho}{\delta} =$	4640	3280	2680	2320	2070	1895	
$\frac{1}{70}$		3240	2295	1875	1625	1450	1325	
$\frac{1}{50}$		2320	1640	1340	1160	1035	945	
$\frac{1}{40}$		1855	1310	1070	930	830	760	

Für $\delta = 1$ mm beispielsweise geben diese Zahlen den Durchmesser in mm an, den die Laufräder haben müßten, wenn das Seil sich dem Rade anschmiegen sollte. In Wirklichkeit haben die Tragseile größere Drahtdicken. Danach ist es unmöglich, den Rädern solche Durchmesser zu geben, daß die Tragseile sich an der Laststelle den Rädern anschmiegen.

Die Biegungsspannung σ_b der Drähte des Tragseils unter dem Rade des Fahrzeuges wird (umgeformt aus den Arbeiten von Isaachsen und Woernle)[6])

(3) $$\sigma_b = q\sqrt{E \cdot \sigma_z}.$$

[2]) Benoit und Woernle, Die Drahtseilfrage. Karlsruhe 1915. Verlag Gutsch.

[3]) Woernle, Zur Beurteilung der Drahtseilschwebebahnen für Personenbeförderung, Habilitationsschrift. Berlin 1913. Verlag Krayn.

[4]) Rubin, Personenseilschwebebahnen, Bauart Bleichert-Zuegg, mit besonderer Berücksichtigung der Zugspitzbahn. Z. d. V. d. I. 1926, S. 1755 u. f.

[5]) Isaachsen, Z. d. V. d. I. 1907, S. 655 u. f.

[6]) Woernle, Zur Beurteilung ..., S. 49.

Hieraus ergeben sich die Werte der Tafel 2.

Tafel 2.

	$\sigma_z =$	1	2	3	4	5	6	t/cm²
$q = \frac{1}{100}$	$\sigma_b =$	0,46	0,66	0,81	0,93	1,04	1,14	t/cm²
$\frac{1}{70}$		0,66	0,94	1,15	1,33	1,48	1,62	„
$\frac{1}{50}$		0,93	1,31	1,61	1,86	2,07	2,27	„
$\frac{1}{40}$		1,16	1,64	2,01	2,32	2,59	2,84	„

Die Biegungsspannung der Drähte im Seil ist somit unabhängig vom Drahtdurchmesser, sie würde also auch nicht größer sein, wenn an Stelle des Seiles ein voller Rundstab träte. Dagegen wächst der Krümmungshalbmesser des Seiles unter dem Rade mit abnehmender Drahtdicke. Das ist wichtig für die später aus Tafel 4 zu ziehenden Folgerungen.

Für Personenseilbahnen kommt der umrahmte Teil der Tafel 2 in Betracht.

Diese Zahlen gelten nur angenähert insofern, als Voraussetzung für Gl. 3 war, daß die Last gleichmäßig auf alle Drähte der Seile verteilt wird und daß die Drähte reibungslos nebeneinander liegen. In Wirklichkeit treten noch erhebliche Reibungsspannungen hinzu. Die Biegungsspannung nimmt aber seitlich der Laststelle schnell ab und ist beim nächsten Rade bereits verschwunden, so daß in den Seilen durch mehrere Räder keine Überlagerung der Biegungsspannungen auftritt.

Bei einer Bruchfestigkeit der Drähte von mindestens 16 t/cm² kann man demnach die Seile bei Personenseilbahnen unbedenklich mit einer Zugspannung $\sigma_z \approx 4$ t/cm² beanspruchen, wenn die rechnerische Biegungsspannung (Grundspannung nach Tafel 2)

$$\sigma_b \approx 1{,}5 \text{ t/cm}^2$$

nicht erheblich überschreitet.

Bei den ausgeführten Lastenbahnen sind die Spannungen nicht unbeträchtlich größer. Immerhin sind die Zahlen der Tafel 2 für die Biegungsspannungen nur als Anhalt für ihre Größenordnung anzusehen. Häufig verzichtet man darauf, sie anzugeben, vorausgesetzt, daß das Verhältnis

$$q = \frac{V}{S}$$

hinreichend klein angenommen wird.

Früher schrieb man für die zulässige Zugspannung $^1/_{10}$ der Bruchspannung des Drahtes vor, ohne die Biegungsspannung überhaupt zu berücksichtigen. Das führte dann aber leicht zu gewaltigen Täuschungen über die tatsächliche Sicherheit, wie beispielsweise Woernle betreffs des Wetterhornaufzuges nachgewiesen hat.[7])

Die Tragseile der Lastenluftseilbahnen sind in der Regel mit $\frac{1}{3{,}5}$ bis mindestens $\frac{1}{4{,}5}$ der rechnungsmäßigen Bruchlast gespannt. Rubin empfiehlt[8]) auch bei Personenluftseilbahnen $\frac{1}{3{,}5}$, also bei einer Bruchspannung von 16,5 t/cm² $\sigma_z \approx 4{,}7$ t/cm² zu nehmen.

Für die neueren Personenluftseilbahnen ist jedenfalls der Gesichtspunkt wesentlich, daß man eine hohe Zugspannung zuläßt unter der Voraussetzung, daß die Biegungsspannung hinreichend herabgemindert wird.

Nimmt man nun beispielsweise für den folgenden Vergleich zugunsten der Luftseilbahn

$$q = \frac{V}{S} \leqq \frac{1}{50}$$

an und hängt das Fahrzeug an acht Räder, so darf das Fahrzeuggewicht

$$= \frac{8}{50} \leqq \frac{1}{6}$$

der Seilkraft sein.

Das ist in Abb. 1 für die übliche Luftseilbahn dargestellt. Abb. 1 zeigt die Seitenansicht des Fahrzeuges auf dem Tragseil und darunter den zugehörigen Kräfteplan. Darin ist

$$H \approx S \approx 6\,P.$$

H = Polweite des Kräfteplanes,
S = Seilkraft des Tragseils,
P = Gewicht des Fahrzeuges.

Der Durchhang der Seile ist klein und beträgt, abgesehen vom Eigengewicht des Tragseils, rd. $^1/_{24}$ der Spannweite.

Abb. 2 zeigt dagegen den Schwebelift. Über zwei Stützscheiben ist ein Seil geschlungen. Die Enden des Seiles sind gelenkig miteinander verbunden. In das Seilgelenk ist das Fahrzeug gelenkig eingehängt.

[7]) Woernle, Zur Beurteilung . . ., S. 56.
[8]) Z. d. V. d. I. 1926, S. 1755.

Durch Antrieb einer der Scheiben wird das Seil mit dem Fahrzeug zwischen den Endstellungen hin und her bewegt. An der Laststelle des Seiles treten demnach Biegungsspannungen nicht auf. Daher ist der Durchhang nur durch die Geländegestaltung beschränkt.

Bezeichnet man

f = Durchhang des Seiles,
l = Stützweite des Seiles,

so ist bekanntlich das Produkt Hf = konstant = M gleich dem Angriffsmoment eines einfachen Balkens von der Stützweite l, der in der Mitte mit P belastet ist.

$$M = \frac{P\,l}{4},$$

also wird

$$\frac{H}{P} = \frac{l}{4f}. \tag{4}$$

Demnach ergibt sich:

Tafel 3.

Für $\frac{f}{l} =$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{48}$
wird $\frac{H}{P} =$	1,0	1,25	1,50	2,0	2,5	6,0	12,0
und $\frac{S}{P} =$	1,12	1,35	1,58	2,06	2,55	6,02	12,0
Kennzeichnend für	Schwebelift					Luftseilbahn mit $q = \frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$

Dies gilt bei gleicher Höhenlage der Stützpunkte. Bei stark geneigter Bahn wird $\frac{S}{P}$ entsprechend größer.

Bei der üblichen Luftseilbahn ist, abgesehen von dem Einfluß des Eigengewichts des Seiles, günstigenfalls

$$\frac{f}{l} \approx \frac{1}{24} \quad \text{und} \quad \frac{S}{P} \approx 6.$$

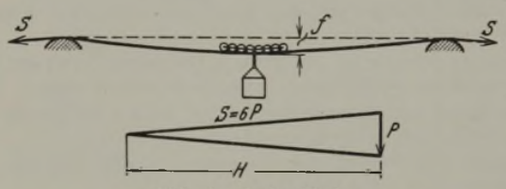


Abb. 1. Luftseilbahn.

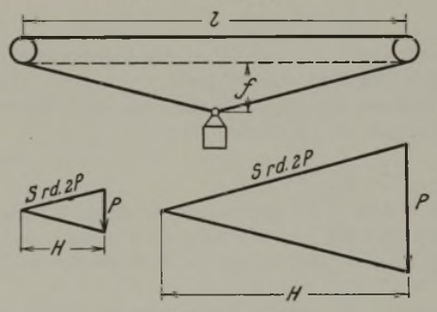


Abb. 2. Schwebelift.

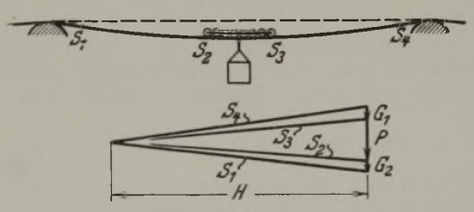


Abb. 3. Luftseilbahn.

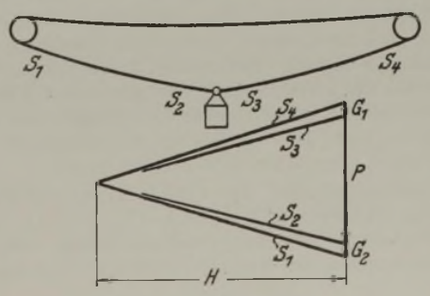


Abb. 4. Schwebelift.

Abb. 1 bis 4. Kräftepläne.

Beim Schwebelift dagegen, beispielsweise bei $\frac{f}{l} \approx \frac{1}{8}$ wird $\frac{S}{P} \approx 2$. Das heißt, das gleiche Fahrzeuggewicht erfordert beim Schwebelift bei $^1/_8$ Durchhang nur $^1/_3$ des Seilquerschnitts der gewöhnlichen Luftseilbahn, oder bei gleichem Seilquerschnitt trägt der Schwebelift bei $^1/_8$ Durchhang die dreifache Last.

In Abb. 2 sind die Kräftepläne für $\frac{f}{l} = \frac{1}{8}$ gezeichnet, links bei gleicher Last, rechts bei gleichem Seilquerschnitt wie in Abb. 1.

Bei $^1/_4$ Durchhang erfordert der Schwebelift $^1/_6$ des Seilquerschnitts der Luftseilbahn bezw. trägt bei gleichem Seilquerschnitt die 6fache Last.

In der Regel wird man beim Schwebelift ein Verhältnis $\frac{f}{l} \approx \frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ anstreben.

Ein weiteres kommt noch hinzu. Beim Schwebelift kann man ohne Schwierigkeiten statt eines Seiles mehrere

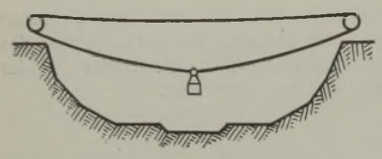


Abb. 5.
Schwebelift als Talüberbrückung.

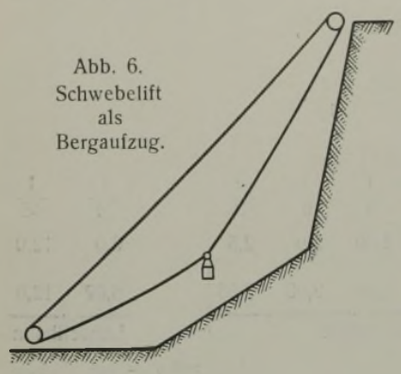


Abb. 6.
Schwebelift
als
Bergaufzug.

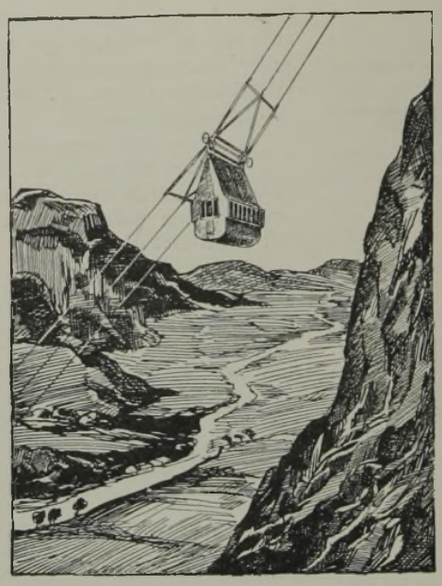


Abb. 7. Fahrzeug des Schwebeliftes.

Seile nebeneinander legen. Bei der bisherigen Luftseilbahn hat man zwar auch wiederholt versucht, mehrere Tragseile anzuwenden (z. B. Kohlerer-Bergbahn bei Bozen). Man ist davon aber wieder abgekommen, da eine einwandfreie Lösung große Schwierigkeiten macht. Die neueren Personenluftseilbahnen sind mit nur einem Tragseil angelegt worden.

Mit der Zahl der Seile vergrößert sich aber im gleichen Verhältnis die zulässige Last, mit der Vergrößerung des Durchhanges wächst ebenso im gleichen Verhältnis die zulässige Last, oder umgekehrt verkleinert sich im gleichen Verhältnis der Seilquerschnitt.

Das bedeutet, daß der Schwebelift bei großem Durchhang etwa die 10fache Last im Vergleich mit der üblichen Luftseilbahn tragen kann.

Das gilt zunächst für kleinere Spannweiten (einige 100 m), bei denen das Eigengewicht der Seile noch keine Rolle spielt.

Abb. 3 zeigt sodann den Einfluß des Eigengewichts des Tragseils bei der üblichen Luftseilbahn für das Verhältnis

$$\frac{S}{P} = 6.$$

P ist das Gewicht des Fahrzeuges, G_1 und G_2 ist das Eigengewicht der beiden Seilabschnitte rechts und links von Fahrzeug.

Abb. 4 zeigt den Einfluß des Eigengewichts der Seile beim Schwebelift bei gleichem Seilquerschnitt für ein Verhältnis

$$\frac{S}{P} = 2.$$

Nun denke man sich in Abb. 3 die Spannweite vergrößert bei gleichbleibendem Seilquerschnitt und bei gleicher Neigung der Seile an den Endpunkten. Dann wird $G_1 + G_2$ größer, und P muß kleiner werden. Bei einer gewissen Spannweite wird $P = 0$.

Dasselbe mache man für die gleiche Spannweite in Abb. 4 beim Schwebelift. Setzt man hier an Stelle $G_1 + G_2$ das Maß $G_1 + G_2 + P$ aus Abb. 3 hinein, so sieht man, daß der Schwebelift noch ein erhebliches Fahrzeuggewicht tragen kann bei einer Spannweite, bei der die Tragseile der bisherigen Luftseilbahn nur noch ihr Eigengewicht tragen würden. Der Schwebelift erlaubt somit auch größere Spannweiten als die übliche Luftseilbahn.

Die nützliche Grenze liegt etwa zwischen 1500 und 2000 m Spannweite.

Anwendung wird der Schwebelift finden einmal im Gebirge, namentlich im Hochgebirge, sei es, daß es sich um die Überbrückung eines scharf eingerissenen Tales handelt (Abb. 5), sei es, daß ein hoch über einer Steilwand liegender Punkt mit der Talsohle verbunden werden soll (Abb. 6 u. 7). Erforderlich ist nur, daß das Gelände einen großen Durchhang der Seile zwischen den Stützpunkten erlaubt. Ein anderes Anwendungsgebiet ergibt sich im Flachlande bei der Überbrückung von schiffbaren Wasserstraßen, namentlich der von Seeschiffen befahrenen Strommündungen und von Hafenanlagen. Endlich wird der Schwebelift voraussichtlich als Kabelkran auf Baustellen und Lagerplätzen gute Dienste leisten.

Über die ersten Versuchsergebnisse des eingleisigen Schwebeliftes mit einer Spannweite ist bereits früher berichtet[9]).

Die weiteren Versuche führten zur zweigleisigen Anlage, sodann zur Ausbildung der Zwischenstützen, um mehrere Spannweiten hintereinander zu legen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, zweigleisige Bergbahnen von mehreren Kilometern Länge zu bauen.

Bei den Versuchen zeigte sich als letzte und ernsteste Schwierigkeit, daß die Fahrzeuge Schwingungen machten, die durch Resonanz eine unzulässige Größe erreichen konnten. Die Verhinderung solcher Schwingungen ist natürlich Voraussetzung für einen einwandfreien Betrieb und ist gelungen.

Die Seile werden beim Schwebelift mit dem Fahrzeug bewegt. Sie laufen an den Enden der Bahn über Seilscheiben. Hier treten in den Seilen Biegungsspannungen auf. Unter den gleichen Voraussetzungen, die bezüglich der Gültigkeit von Tafel 2 gemacht sind, berechnet sich die Biegungsspannung σ_b der Drähte des Seiles über der Seilscheibe nach Reuleaux zu

$$\sigma_b = \frac{\delta}{D} \cdot E. \tag{5}$$

δ = Drahtstärke
D = Scheibendurchmesser
E = Elastizitätsmaß ≈ 2150 t/cm².

Daraus ergibt sich Tafel 4.

In dem Schrifttum findet sich noch vielfach die rechte Seite der Gl. 5 mit einem Wert $C < 1$ multiplizlert.

Diese von Bach stammende Annahme, daß das Seil geringere Biegungsspannung erleide als der Draht, ist, wie Benoit nachgewiesen hat, volkommen irrig.

Tafel 4.

Für $\frac{\delta}{D} = \frac{1}{200}$	wird $\sigma_b =$	10,8 t/cm²
$\frac{1}{500}$		4,3 „
$\frac{1}{1000}$		2,15 „
$\frac{1}{1500}$		1,43 „
$\frac{1}{2000}$		1,08 „

Aus dem Betrieb von Bergwerksförderanlagen hatte man die Erfahrungsregel abgeleitet, daß man den Seilscheibendurchmesser mindestens gleich dem 1000fachen der Drahtdicke und dem 100fachen der Seildicke nehmen müsse, um eine genügende Lebensdauer der Seile zu erreichen. Ein Vergleich mit Tafel 2 lehrt, daß man den Seilscheibendurchmesser bei Personenförderung besser nicht unter dem 1500fachen der Drahtdicke wählt, wenn man eine hohe Zugspannung anwenden will.

Aus den Biegungsversuchen von Benoit ergab sich beispielsweise, daß ein unverseilter Draht von 1 mm Durchm. mit einer Bruchfestigkeit von 16,5 bis 18 t/cm² mit $E = 2007$ t/cm², der über eine Scheibe von 241 mm Durchm. gebogen wurde, bei einer Zugspannung $\sigma_z = 2$ t/cm², nach 3,7 Millionen Biegungswechseln noch nicht gebrochen war[10]). (Ein Biegungswechsel = Auflaufen auf die Scheibe aus dem geraden Strang und Ablaufen von der Scheibe in den geraden Strang.)

Da also die Elastizitätsgrenze hierbei noch nicht überschritten war, ist die Biegungsspannung

$$\sigma_b = \frac{\delta}{D} \cdot E = \frac{1}{241} \cdot 2007 \approx 8{,}3 \text{ t/cm}^2$$

und die Gesamtspannung

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_b = 2{,}0 + 8{,}3 \approx 10{,}3 \text{ t/cm}^2.$$

Bei $\sigma_z = 4$ t/cm² und einem Scheibendurchmesser = 210 mm war der Draht nach 422000 Biegungswechseln noch nicht gebrochen, dabei ist

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_b = 4{,}0 + 9{,}6 \approx 13{,}6 \text{ t/cm}^2.$$

Diese Zahlen liegen hoch über den im Eisenbrückenbau gebräuchlichen und zeigen, daß das Drahtmaterial von vorzüglicher Güte ist und seine Proportionalitätsgrenze nicht weit von der Bruchgrenze entfernt ist.

Durch das Verflechten der Drähte zu Litzen und der Litzen zum Seil erhalten die Drähte erhebliche Vorspannungen. Bei der Biegung der Seile scheuern die Drähte und Litzen aufeinander unter einem Druck, der mit wachsendem σ_z zunimmt, beim Auflaufen auf die Seilscheiben sind die Flächendrücke groß.

Alles dies zusammengenommen hat zur Folge, daß im Seil erhebliche Nebenspannungen entstehen und daß infolgedessen die zulässige rechnungsmäßige Biegungsspannung des Drahtes im Seil mit zunehmender Verflechtung und zunehmendem σ_z erheblich herabgesetzt werden muß. Die Versuche von Benoit lassen einen gesetzmäßigen Verlauf erkennen,

[9]) R. Petersen, Schwebelift und Schwebefähre. „Verkehrstechnik" 1922, H. 31. Abb. 7 ist dieser Veröffentlichung entnommen.

[10]) Benoit, Die Drahtseilfrage, S. 98 u. f.

erlauben aber noch nicht, allgemein gültige Schlußfolgerungen ziffernmäßig festzulegen.

Aus den Erfahrungen, die mit Förderseilen und Zugseilen von Seilbahnen gemacht sind, möchte ich den Schluß ziehen, daß beim Schwebelift für Seile von etwa 30 bis 40 mm Durchm. und 2 bis 3 mm Drahtdicke eine ausreichende Lebensdauer erwartet werden darf, wenn die Gesamtspannung $\sigma = \sigma_z + \sigma_b \leqq 5$ t/cm² gewählt wird. Für dünnere Seile ist vielleicht etwas mehr, für dickere Seile weniger zuzulassen.

Will man also eine hohe Zugspannung anwenden, so ist es nötig, die Biegungsspannung durch Vergrößerung der Seilscheibendurchmesser herabzusetzen.

Somit erscheint für den Schwebelift zulässig Tafel 5.

Tafel 5.

Bei $\frac{D}{\delta} \approx 1000$	wird $\sigma_b \approx 2{,}0$	und zulässig $\sigma_z \approx 3{,}0$ t/cm²	
1500	1,4	3,6	„
2000	1,0	4,0	„

Die Seile des Schwebeliftes sind nicht ohne weiteres mit den Zugseilen der Luftseilbahnen zu vergleichen. Bei letzteren sind von Bedeutung auch die Biegungsspannungen über den Tragrollen an den Stützen, die nach Rubin[11]) ebenso wie bei den Tragseilen eine hohe Anspannung der Zugseile wünschenswert erscheinen lassen, um den Verschleiß an den Tragrollen zu verringern. Beim Schwebelift fällt diese Rücksicht fort. Diese Zahlen der Tafel 5 sind als vorläufiger Versuch anzusehen, für Litzenseile im Längsschlag von 30 bis 40 mm Seildurchmesser und 2 bis 3 mm Drahtstärke den erforderlichen Querschnitt annähernd richtig zu bestimmen.

Die außerordentlich wertvollen Versuche von Woernle[12]) zeigen, daß außer der Zugspannung σ_z und der Biegungsspannung σ_b die Bauart mit vielen dünnen Drähten oder mit wenigen dicken Drähten, die Schlagart des Seiles, künstliche Biegungs- und Verdrehungsvorspannungen, die Form der Seilrillen usw. großen Einfluß auf die Lebensdauer der Seile haben.

Die Versuche Woernles beschränkten sich bisher auf verhältnismäßig dünne Aufzugseile und kleine Scheibendurchmesser. Erst aus der Fortsetzung seiner Versuche werden sich auch für Seile, wie sie hier in Betracht kommen, zuverlässige Richtlinien für die zweckmäßigste Belastung ergeben. Bisher fehlen dafür sichere Unterlagen.

Eine Erhöhung der Sicherheit beim Schwebelift liegt ferner darin, daß man den erforderlichen Seilquerschnitt auf mehrere Seile, in der Regel nicht unter drei, verteilt. Drei dünne Seile haben kleinere Nebenspannungen, erlauben also eine größere Zugspannung σ_z als ein dickes Seil vom dreifachen Querschnitt. Wenn bei der bisherigen Bauweise das Tragseil reißt, stürzt der Wagen ab. Beim Schwebelift sind in diesem Falle noch die beiden anderen Seile da, die dabei auch nicht größere Beanspruchung, sondern nur größeren Durchhang erhalten. Die Rücksicht hierauf bestimmt die Höhenlage des Fahrzeuges über dem Gelände.

Ein Reißen des Seiles ist denkbar bei einer Querschnittsverminderung einmal infolge Abnutzung durch Scheuern der Drähte aneinander und auf den Seilscheiben. Diese Abnutzung führt mit der Zeit zu Drahtbrüchen, die immer an der Seiloberfläche erkennbar sind. Eine andere Möglichkeit ist das Rosten der Drähte im Innern des Seiles. Das ist an der Seiloberfläche nicht ohne weiteres erkennbar. Dagegen sichert man sich durch gute Schmierung. Die Seile müssen daher fortlaufend und regelmäßig auf Drahtbrüche und den Zustand der Schmierung untersucht werden. Diese Untersuchung geschieht bei den bisherigen Luftseilbahnen in der Weise, daß ein Beamter am Tragseil in langsamer Fahrt entlangfährt. Beim Schwebelift geschieht die Schmierung und Prüfung vom festen Stand in den Endhaltestellen aus, indem das Seil daran langsam vorbeiläuft. Das ist zweifellos zuverlässiger.

Bei diesen Überlegungen ist aber doch nicht außer acht zu lassen, daß das Reißen eines Seiles bei zweckmäßiger Anlage, ausreichender Schmierung, ordnungsgemäßer Untersuchung und rechtzeitiger Auswechlung ebensowenig in Betracht kommen sollte als der Einsturz einer eisernen Brücke.

Es ist ein großer Vorzug der Drahtseile, daß ihre allmähliche Abnutzung deutlich an den Drahtbrüchen erkennbar ist.

Mit Rücksicht auf die Gefahr des Rostens bei ungenügender Schmierung besteht beispielsweise in der Schweiz die Vorschrift, daß die Seile nach längstens 10 Jahren auszuwechseln sind, ganz gleichgültig, ob ihr Zustand an der Oberfläche noch gut ist.

Aber schon bei 5jähriger Lebensdauer machen die Kosten der Seilerneuerung in der Jahresrechnung keinen erheblichen Betrag mehr aus.

[11]) Z. d. V. d. I. 1926, S. 1764.

[12]) Woernle: Ein Beitrag zur Beurteilung der heutigen Berechnungsweise der Drahtseile. Karlsruhe 1914, Gutsch.

Derselbe, Über den Einfluß der Schlagart auf die Lebensdauer der Drahtseile. Maschinenbau 1924, H. 21.

Derselbe, Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. d. V. d. I. 1929, Nr. 13.

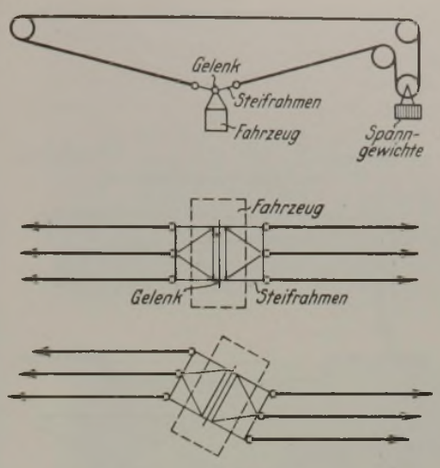


Abb. 8 bis 10. Kraft- und Längenausgleich beim eingleisigen mehrseiligen Schwebelift.

Auch unter den Anlagekosten spielen die der Seile nur eine geringe Rolle.

Beim mehrseiligen Schwebelift ist nun ferner wichtig, daß die Seile gleichmäßig belastet werden, oder richtiger, es muß verhindert werden, daß ein Seil unter Entlastung der anderen Seile eine Zusatzbelastung erfährt. Das wird bei eingleisigen Anlagen dadurch erreicht, daß jedes Seil ein besonderes Spanngewicht erhält. Damit ist für jedes Seil die größtmögliche Spannkraft durch das Spanngewicht gegeben (Abb. 8).

Abb. 9 zeigt den Grundriß des Seilgelenkes einer dreiseiligen Anlage. Das Gelenk liegt in einem Steifrahmen, der verhindert, daß ein Seil dem anderen voreilen kann. Wenn das nämlich der Fall wäre, müßte der Steifrahmen sich schief stellen (Abb. 10), dann aber bilden die Seilkräfte ein Kräftepaar, das den Steifrahmen in die Lage Abb. 9 zurückdreht.

Schwingungen zwischen Fahrzeug und Spanngewichten können dadurch verhindert werden, daß das Spanngewicht des mittleren Seiles mit einem Kolben verbunden ist, der sich in einem mit Flüssigkeit gefüllten Zylinder bewegt. Der Übertritt der Flüssigkeit von der einen auf die andere Kolbenseite geschieht durch eine enge Öffnung. Bei langsamer Bewegung des Kolbens ist der Widerstand der überströmenden Flüssigkeit klein, bei schneller Bewegung des Kolbens ist der Widerstand groß. Die Versuche zeigten eine ausgezeichnete Wirkung dieser Anordnung.

Der Antrieb geschieht bei kleinen Spannweiten (einigen 100 m) dadurch, daß das mittlere Seil auf einer Trommel auf- und abgewickelt wird. Bei großen Spannweiten (über 1000 m) wird jedes Seil durch eine Treibscheibe mit besonderem Motor angetrieben, weil die Trommeln zu groß würden. Das elektrische Problem ist dabei dasselbe wie bei einem Straßenbahnwagen mit mehreren Motoren oder wie bei einem elektrischen Stadtschnellbahnzug. Die Ungleichheit der Scheibendurchmesser muß ebenso wie die Ungleichheit der Raddurchmesser beim Eisenbahnwagen durch ungleiche Umlaufzahl der Motoren ausgeglichen werden. Dabei ist elektrische Bremsung, aber nicht Stromrückgewinnung möglich.

Beim Trommelantrieb nur eines Seiles kann man auch mit Stromrückgewinnung arbeiten.

Aus den möglichen, durch Modellversuche erprobten Anwendungen sei zunächst folgendes Beispiel herausgegriffen, das im Flachlande vielfach Anwendung finden wird.

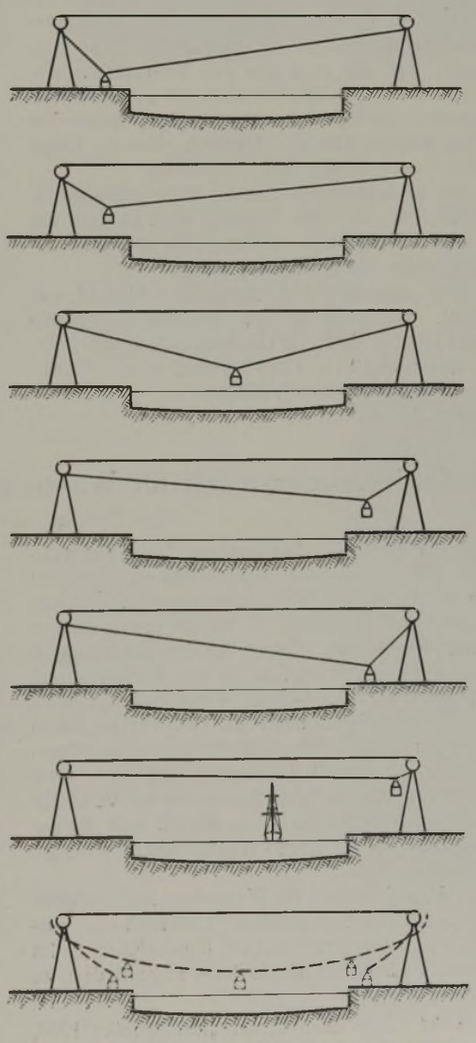


Abb. 11 bis 17.
Schwebelift über einem Seehafen.

Abb. 11 bis 21 zeigen einen eingleisigen Schwebelift über einer Wasserstraße.

Ein Entwurf für Danzig ist in Arbeit. Hier handelt es sich darum, einen Hafenarm zu überbrücken. Gegen eine feste Brücke mit Klappe bestehen, abgesehen von ihren Kosten, große Bedenken mit Rücksicht auf die Seeschiffahrt.

Der Schwebelift (Abbild. 11) wird voraussichtlich eine befriedigende Lösung geben. Beiderseits der Wasserstraße werden eiserne Türme von 50 bis 60 m Höhe aufgestellt, etwa um die Turmhöhe von den Uferkanten zurückgerückt. Auf den Turmspitzen befinden sich Seilscheiben, darüber sind drei nebeneinanderliegende Seile geführt, deren Enden durch einen Steifrahmen gelenkig miteinander verbunden sind. In das Gelenk ist das Fahrzeug gelenkig eingehängt. — In Abb. 11 steht das Fahrzeug auf dem linken Ufer auf dem Erdboden, ein Auto kann quer zur Bildebene in das Fahrzeug einfahren.

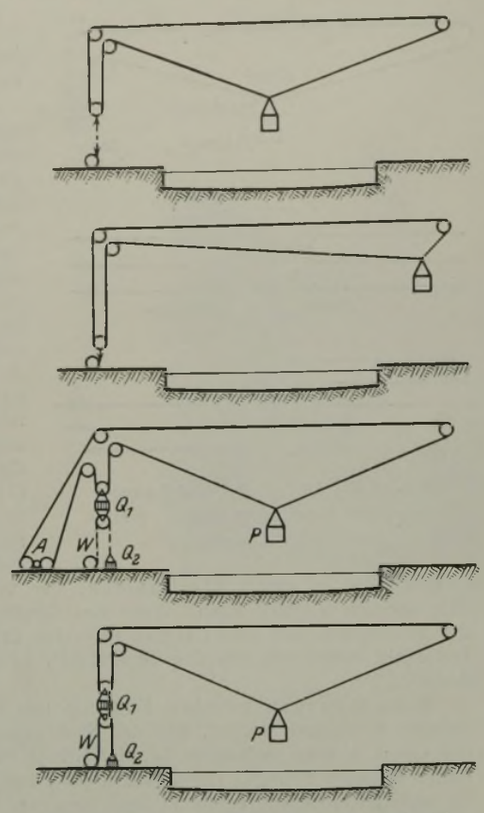


Abb. 18 bis 21. Seilführung beim Hafenlift.

Die Fahrt beginnt damit, daß die zwischen den Turmspitzen umlaufenden Seile verkürzt werden. Nach Abb. 18 sind die Seile in dem linken Turm über Spannscheiben geführt, die durch einen besonderen Antrieb gesenkt und gehoben werden können. Dadurch wird die Länge der zwischen den Turmspitzen umlaufenden Seile verändert.

Abb. 12 bis 14 zeigen die Endstellungen und die Mittelstellung des Fahrzeuges während der Überfahrt. Aus der Stellung Abb. 14 wird das Fahrzeug in die Stellung Abb. 15 auf dem rechten Ufer abgesetzt dadurch, daß die Spannscheiben (Abb. 18) gehoben werden.

Das Fahrzeug bewegt sich somit auf einer Ellipse nach Abb. 17, und zwar auf ihrem flachen Teil. Die Hebung des Fahrzeuges zwischen Abb. 11 u. 12 beträgt etwa 10 m. — Bei 20 t Gesamtgewicht des Fahrzeuges ist etwa die Hälfte, also etwa 10 t = 130 Personen oder = 1 Lastfuhrwerk oder = 2 Personenautos als Nutzlast verfügbar.

Die Überfahrt dauert einschl. Aufenthalt bei etwa 5 m/sek mittlerer Fahrgeschwindigkeit bei Personenverkehr etwa 1 min, bei Fuhrwerkverkehr etwa $1^1/_2$ min.

Bei Personenverkehr kann alle 2 min in jeder Richtung gefahren werden, bei Fuhrwerkverkehr alle 3 min. In der Stunde lassen sich also etwa 4000 Personen in jeder Richtung übersetzen, Lastautos oder Pferdefuhrwerke etwa 20 je h, Personenautos etwa 40. Diese Leistungsfähigkeit gilt für die eingleisige Anlage und verdoppelt sich bei der zweigleisigen. Wenn diese Leistungsfähigkeit auch die einer festen Brücke nicht erreicht, so ist doch bemerkenswert, daß viele der bestehenden Straßenbrücken diesen Stundenverkehr noch nicht aufweisen.

Zwischen dem Verkehr = 0 und der möglichen Leistungsfähigkeit einer festen Brücke liegt eine ganze Reihe von Zwischenstufen des tatsächlichen Bedarfs. Die mögliche Leistungsfähigkeit einer festen Brücke wird, abgesehen von den Hauptverkehrsstraßen unserer Großstädte, nur in seltenen Fällen ausgenutzt. In vielen Fällen ist daher der Schwebelift auch als Vorläufer einer festen Straßenbrücke zweckmäßig, da er die Möglichkeit bietet, die großen Aufwendungen für eine Straßenbrücke um einige Jahrzehnte zu verschieben.

Abb. 20 u. 21 zeigen die Seilführung des dreiseiligen Schwebeliftes. Abb. 20 gilt für das mittlere Seil, Abb. 21 für die beiden äußeren Seile. Das mittlere Seil (Abb. 20) ist über einen Trommelantrieb *A* geführt.

Die Hebevorrichtung ist in Abb. 20 u. 21 dargestellt. Unter den Spannscheiben hängen die oberen Spanngewichte Q_1, die so bemessen sind, daß sie das Leergewicht des Fahrzeuges in der Endstellung auf dem Ufer nahezu ausgleichen. Unter den oberen Spanngewichten befinden sich Umlenkscheiben, darüber sind Seile geführt, die auf der einen Seite mit einer Seilwinde *W*, auf der anderen Seite mit den unteren Spanngewichten Q_2 verbunden sind. Die unteren Spanngewichte Q_2 ruhen in der Regel auf dem Erdboden auf und sind so bemessen, daß sie zusammen mit den oberen Spanngewichten Q_1 das Gewicht *P* des besetzten Fahrzeuges in der Mittelstellung (Abb. 13, 20, 21) in der höchsten Lage, die das Fahrzeug einnehmen darf, ausgleichen. Sie geben die Sicherheit, daß in den Seilen eine gewisse größte Zugspannung nicht überschritten werden kann. Im übrigen aber wird die Bahn des Fahrzeuges durch die Steuerung der Hebevorrichtung *W* bestimmt.

Schwingungen des Fahrzeuges treten nicht auf, da die Spanngewichte nicht frei spielen. Schwingungen der Seile sind bedeutungslos, wie die ausgeführten Luftseilbahnen beweisen.

Abb. 11 bis 15 zeigen die Überfahrt, wenn die Schiffahrt ruht. Bei regem Kleinschiffverkehr (Schlepper, Personendampfer, Motorboote mit geringen Masthöhen) wird man die Bahn des Fahrzeuges so hoch legen, daß die Kleinschiffahrt unbehindert darunter verkehren kann. Kommt aber ein hochmastiges Schiff, so wird das Fahrzeug nach Abb. 16 u. 19 bis dicht an die Turmspitze gefahren und damit unter den straff gespannten Seilen die erforderliche Durchfahrthöhe freigegeben.

In Seehäfen wird man mit Rücksicht auf die Kleinschiffahrt die Bahn des Fahrzeuges etwa 20 m über den Wasserspiegel legen und die Türme etwa 60 m hoch machen. Die Durchfahrthöhe unter den straff gespannten Seilen ist beispielsweise in Danzig bedingt durch die großen Schwimmkrane von ungefähr 50 m Höhe. (Schluß folgt.)

Die Aufgabe der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Technischen Hochschule Danzig.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Professor Dr.-Ing. **R. Winkel**, Danzig.

In dem letzten Jahrzehnt ist eine rege Anteilnahme der Wasserbau-Ingenieure an dem Wasserbau-Versuchswesen wahrzunehmen gewesen; nicht zum geringsten Teil hatten die erfolgreichen Arbeiten der Staatlichen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin sowie einiger Hochschul-Laboratorien hierzu beigetragen. Diese Erfolge fanden auch in ausländischen Fachkreisen große Beachtung; so ist der Anregung und Förderung des hochbedeutenden amerikanischen Wasserbau-Ingenieurs Dr.-Ing. ehr. John R. Freeman das Erscheinen der wertvollen Buchveröffentlichungen zu verdanken: „Die Wasserbaulaboratorien Europas", V.D.I.-Verlag, Berlin 1926, und „Hydraulic Laboratory Practice", New York 1929.[1]) Beide Bücher beweisen, daß die hohe Bedeutung der Versuchstechnik für die Baupraxis die weiteste Anerkennung findet, und weisen auch auf die zukünftige Entwicklung dieses jungen technischen Forschungsgebietes hin.

Bisher war die staatliche Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin die einzige Anstalt, die als selbständiges Unternehmen ausschließlich für die Anforderungen der praktischen Bauausführung im Wasserbau arbeitet, ohne einer Technischen Hochschule angegliedert zu sein. Die Errichtung weiterer selbständiger Anstalten zum gleichen Zwecke ist im Gange. So erhebt sich von selbst die Frage: Welche Aufgaben fallen den selbständigen Versuchsanstalten und welche den Hochschul-Laboratorien zu? Beide Gruppen bilden fraglos Forschungsanstalten; dieses Merkmal ist beiden gemeinsam, nicht gemeinsam aber ist die Aufgabe und das zu erreichende Ziel. Die selbständigen Anstalten erfordern einen Stab wissenschaftlich gut ausgebildeter Ingenieure, um den Anforderungen der Praxis und der allgemein wissenschaftlichen Forschung in bester Weise genügen zu können. Dagegen können sie nicht (oder doch wenigstens nur in sehr untergeordnetem Umfange) der Ausbildung von Ingenieuren in der Versuchstechnik dienen, da dieses eine hemmende Belastung bedeuten würde. — Die Vorbereitung und Ausbildung des hierfür theoretisch und praktisch wissenschaftlich befähigten Forschungs-Ingenieurs ist nun die Hauptaufgabe aller Wasserbau-Laboratorien und -Versuchsanstalten der Technischen Hochschulen. Bei diesen darf also nicht durch eine weitgehende Sondertätigkeit im ausschließlichen Interesse praktischer Bauten die Vorbereitung und Ausbildung der künftigen Ingenieure gehemmt werden, vielmehr ist auf den Lehrzweck in erster Linie Bedacht zu nehmen. Soweit sich dann noch Zeit und Gelegenheit bietet, können die Anstaltsleiter, die Assistenten und fortgeschrittene Studierende die Einrichtungen der Laboratorien auch für Forschungsuntersuchungen, die allgemeinen Wert besitzen, benutzen.

---

[1]) Das erstgenannte Werk ist besprochen in der „Bautechnik" 1926, Heft 25, S. 351; eine Besprechung des zweiten Werkes wird demnächst veröffentlicht werden. Die Schriftleitung.

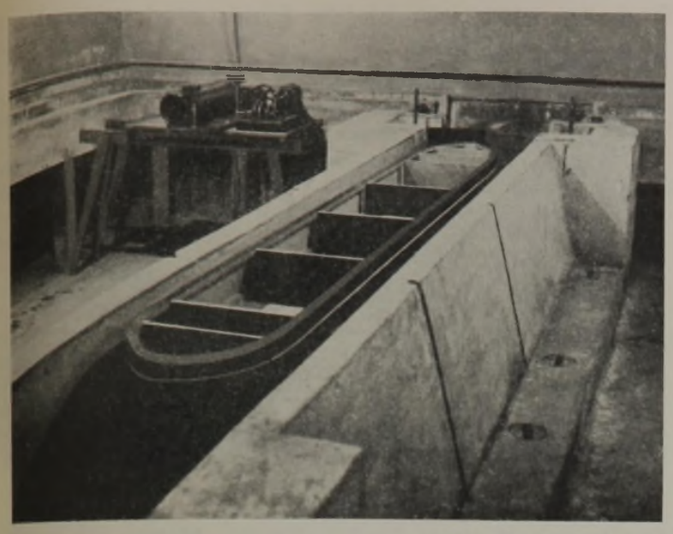


Abb. 1. Schleusenmodell.

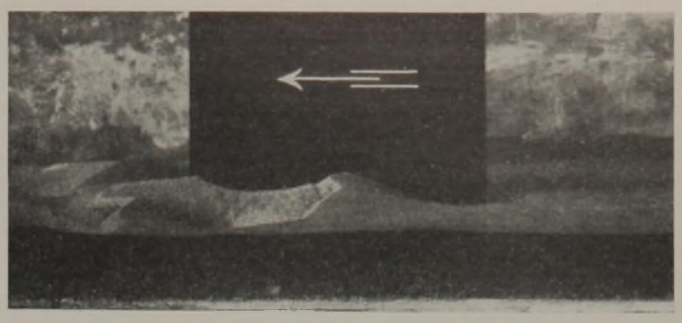


Abb. 5. Kolkbildung am Strompfeiler (II).

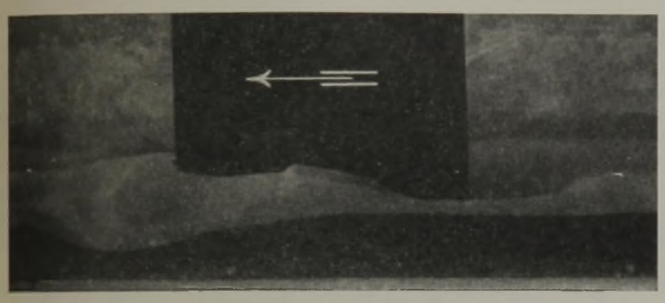


Abb. 3. Kolkbildung am rechteckigen Brückenpfeiler (I).

Abb. 6. Blick in die Langhalle.

In diesem Sinne werden die Arbeiten in der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Technischen Hochschule Danzig durchgeführt. Die seit drei Jahren planmäßig eingeführten Übungen sämtlicher Studierenden des Bauingenieurwesens (vom fünften Semester an) haben großen Anklang gefunden. Jedem dieser Herren bietet sich die Möglichkeit zur Teilnahme an den Übungsarbeiten; erfreulicherweise wird von diesem Rechte im weiten Umfange Gebrauch gemacht, wobei nicht nur die Beobachtungen und Messungen, sondern auch die sinngemäße Auswertung der Messungsergebnisse den Gegenstand der Untersuchungen bilden. Dadurch wird der junge Ingenieur zum scharfen, kritischen Denken erzogen, das die Grundbedingung jeder wissenschaftlichen Arbeit darstellt. Sehr bald lassen sich die besonders Veranlagten an der Art, wie sie die Behandlung des jeweils vorliegenden Problems anfassen, erkennen; diesen steht die Möglichkeit offen, außerdem selbständig kleinere Versuche auszuführen, wobei nach Bedarf eine beratende oder belehrende Anleitung noch über etwa entstehende Schwierigkeiten hinweghilft. — Endlich bietet sich den jungen, fertig ausgebildeten Ingenieuren nach Abschluß des Hochschulstudiums Gelegenheit, im bestehenden Rahmen der Anstaltseinrichtungen Promotionsarbeiten auszuführen.

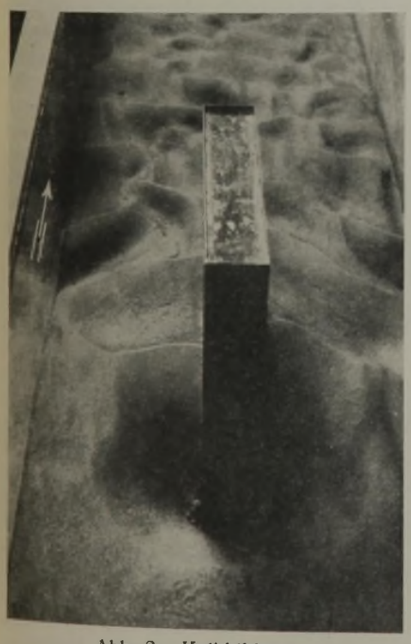


Abb. 2. Kolkbildung am rechteckigen Brückenpfeiler (I).

Bei dieser Art der Benutzung einer akademischen Lehr- und Forschungsanstalt hat sich gezeigt, daß hierzu nicht eine besonders große Anlage erforderlich ist. Jn dem Bestreben, möglichst viel und Brauchbares aus dem Gegebenen herauszuholen, liegt ein nicht zu unterschätzendes Mittel zur Selbsterziehung, denn straffe Zusammenfassung der Kräfte für die jeweils vorliegende Untersuchung ist einer Vertiefung der Forschung sehr förderlich.

Bei rein flußbaulichen Versuchen ergeben sich in den Laboratorien ausnahmslos Schwierigkeiten, weil der stets eng begrenzte Modellmaßstab nicht die störungsfreie Modellähnlichkeit gewährleistet; diese ist nur in ganz großen Ausmaßen erreichbar, wie es in der Außenstelle Marquardt bei Potsdam (mit 800×175 m Grundfläche) der Berliner Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau der Fall ist (vergl. hierzu die Abhandlung des Verfassers im Buch „Die Wasserbaulaboratorien Europas", Seite 55 bis 62 und ferner Seite 201). Aber auch bei Flußbau-Versuchen kann der Hochschullehrer erfolgreich arbeiten, wenn er die Studierenden in den vorbereitenden Vorlesungen auf die Grenzen der Modellähnlichkeit hinweist und zeigt, wieweit die Beobachtungen und Ergebnisse fördernden Wert (vorwiegend in qualitativer Hinsicht, nicht dagegen quantitativ!) besitzen und welche Trugschlüsse bei unsachgemäßer Arbeit entstehen können. Gerade das Negative ist oft von größerer erzieherischer Eindringlichkeit als das vorbehaltlos Anzunehmende.

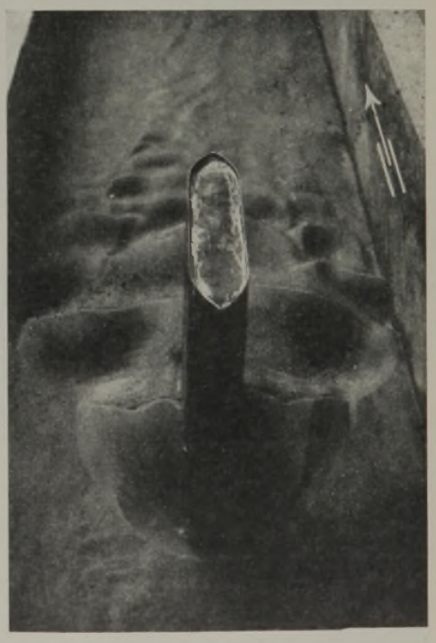


Abb. 4. Kolkbildung am Strompfeiler (II).

Die Danziger Versuchsanstalt für Wasserbau ist in den letzten Jahren den jeweiligen Anforderungen entsprechend noch weiter ausgestaltet und zum Teil umgebaut worden, so daß sie jetzt nicht mehr ganz das Bild besitzt, wie es noch 1926 in dem Buche „Die Wasserbaulaboratorien Europas", S. 405 bis 411, geschildert worden ist. Insbesondere ist der Pumpensumpf tiefer gelegt worden, um bei großer Pumpenleistung das Einschlagen von Luft in die Saugrohre zu vermeiden; die hydraulische Rinne hat einen besonderen, tunnelartigen Beobachtungsgang erhalten, wobei gleichzeitig für die Flußbaurinne ein für die Beobachtung günstig hoch gelegener Arbeitstand gewonnen wurde. In dem östlichen, bis dahin freien Kopfraume (rd. 6,5×8,5 m) ist vertieft ein großes neuzeitliches Schleusenmodell in Modellmaßstab 1 : 20 nebst allen erdenklichen Betriebseinrichtungen und Meßvorrichtungen eingebaut. An den Seitenwänden sind zwei Nebenrinnen angelegt, die von den Studierenden besonders bei selbständigen Arbeiten benutzt werden. Die Abbildungen vermitteln einen Teileinblick in die Danziger Versuchsanstalt für Wasserbau; das Schleusenmodell befand sich zur Zeit der Aufnahme noch im Aufbau, es fehlen in Abb. 1 noch sämtliche Betriebs- und Messungseinrichtungen, die jetzt fertig eingebaut sind. Hinter der Schleusenkammer ist die dort zunächst nur abgestellte Schreibtrommel zur Aufnahme der Wegzeitlinien und der Antriebmotor nebst Vorgelege für die Schützbedienung zu sehen; ferner ist an der Wand noch ein Teilstück einer der beiden Nebenrinnen erkennbar. In diesen Rinnen wurden auch die Ergebnisse mit verschiedenen Brückenpfeilern gewonnen, von denen einige Abbildungen hier beigegeben wurden (Abb. 2 bis 5).

Das letzte Bild zeigt einen Blick in die Langhalle, in der sich (rechts) die Flußbaurinne und (links) die hydraulische Rinne sowie zwischen beiden der hochliegende Arbeitsstand für die Flußbaurinne und darunter der Beobachtungsgang für die hydraulische Rinne befinden (Abb. 6). — Der verfügbare Raum ist also bis aufs äußerste ausgenutzt; eine Anzahl transportfähiger Apparate, die zur Ausführung hydromechanischer Versuche dienen, werden, solange sie nicht in Benutzung sind, in Nebenräumen aufbewahrt. Werkstätten und Lagerräume sind im Dachgeschoß untergebracht worden. Venturimeter, Wasserschloß mit Vorrichtung zur Aufnahme der Wasserstandsschwingungen bei Betriebsänderungen, Ausflußapparate u. a. m. vervollständigen die Einrichtung der Danziger Versuchsanstalt, die sich mit den jetzt bestehenden Ausrüstungen im Gebrauch als ein in jeder Hinsicht brauchbares Ausbildungslaboratorium für die Studierenden erwiesen hat.

Das Kompressorenhaus der Ruhrchemie Aktiengesellschaft in Sterkrade-Holten.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. C. Scharnow, Sterkrade.

An der Technischen Hochschule Danzig wirkt an hervorragender Stelle in voller Rüstigkeit der Altmeister des deutschen Brückenbaues Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. Krohn. Er lehrt dort aus dem tiefen Schatze seiner umfassenden wissenschaftlichen Begabung und seiner reichen praktischen Erfahrung Eisenbau und Statik.

Krohn hat 18 Jahre lang die Brückenbauanstalt der Gutehoffnungshütte Oberhausen A.-G. geleitet, und deshalb sei von seiner alten Wirkungsstätte aus anläßlich der Jubelfeier der Danziger Technischen Hochschule in Treue und Dankbarkeit seiner gedacht. Hat er doch die Sterkrader Brückenbauanstalt in den Jahren seines Schaffens von Erfolg zu Erfolg geführt. Vor wenigen Jahren konnte er gelegentlich seiner Anwesenheit in Sterkrade sich selbst davon überzeugen, daß seine alten Mitarbeiter noch mit Begeisterung jener Zeit gedenken, als unter seiner Leitung der Sterkrader Brückenbau von Jahr zu Jahr seine Leistungsfähigkeit steigerte und auch mit den anderen Völkern auf dem Weltmarkt in erfolgreichen Wettbewerb trat. Seinen Brücken stehen ebenbürtig seine Schöpfungen auf dem Gebiete des Eisenhochbaues zur Seite. Erwähnt sei nur die riesige überdachte Hellinganlage der Germaniawerft in Kiel mit 145 000 m² Grundfläche, bestehend aus vier Schiffen, von denen das eine seitliche Schiff als Portalrahmen ausgebildet ist, während die Binder der übrigen Schiffe auf Pendelstützen ruhen.

Eine ähnliche Lösung wurde im vergangenen Jahre für einen anderen mehrschiffigen Bau gewählt. Als die Ruhrchemie Aktiengesellschaft zur Gewinnung von Stickstoff aus den Nebenerzeugnissen der Kohle in Sterkrade ein Riesenwerk errichtete, wurde das Hauptgebäude, das Kompressorenhaus, von der Gutehoffnungshütte nach eigenem Entwurf erbaut, und die architektonische Gestaltung, die sie diesem Gebäude gab, wurde maßgebend für die Architektur der Gesamtanlage.

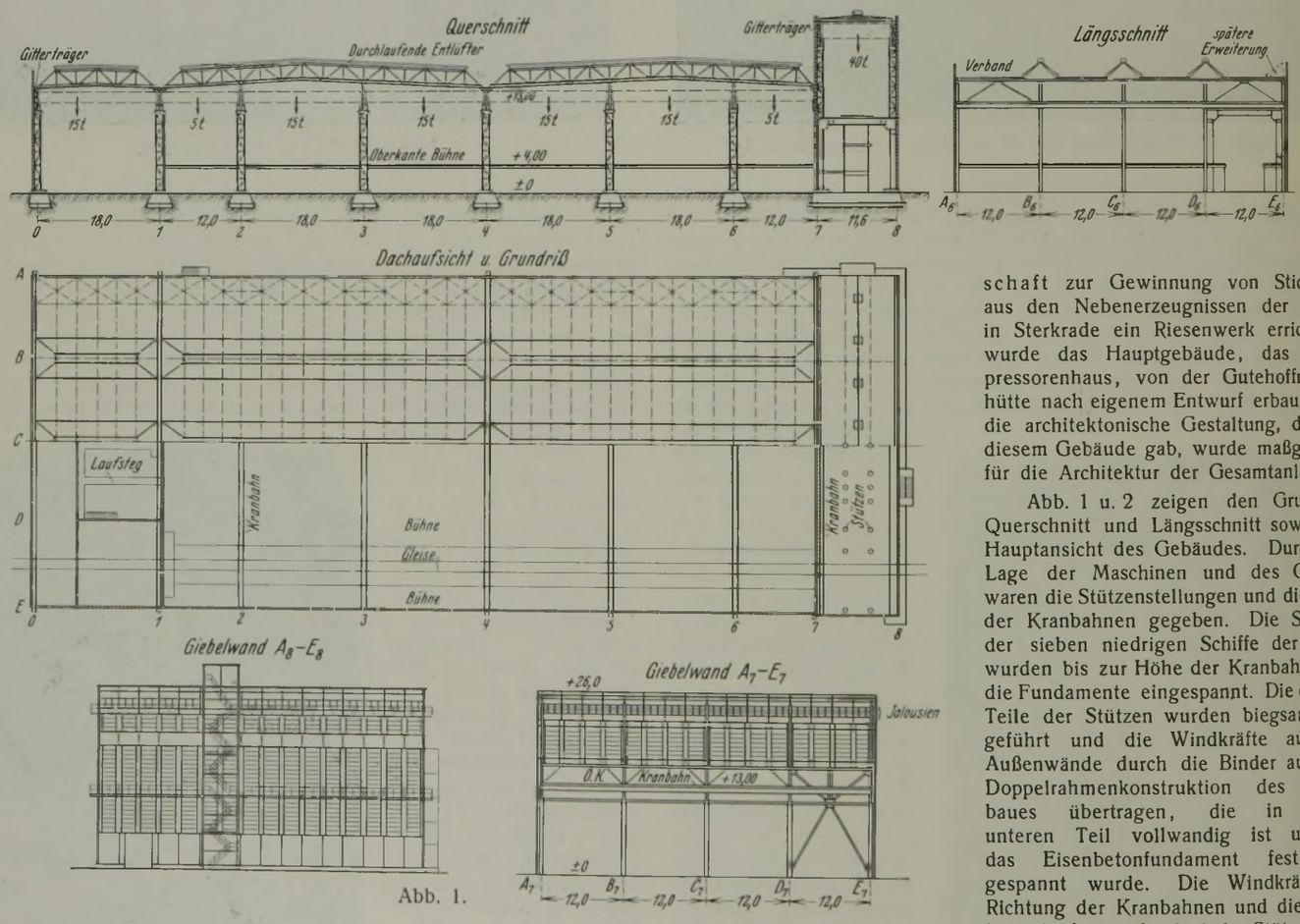


Abb. 1.

Abb. 1 u. 2 zeigen den Grundriß, Querschnitt und Längsschnitt sowie die Hauptansicht des Gebäudes. Durch die Lage der Maschinen und des Gleises waren die Stützenstellungen und die Lage der Kranbahnen gegeben. Die Stützen der sieben niedrigen Schiffe der Halle wurden bis zur Höhe der Kranbahnen in die Fundamente eingespannt. Die oberen Teile der Stützen wurden biegsam ausgeführt und die Windkräfte auf die Außenwände durch die Binder auf eine Doppelrahmenkonstruktion des Turmbaues übertragen, die in ihrem unteren Teil vollwandig ist und in das Eisenbetonfundament fest eingespannt wurde. Die Windkräfte in Richtung der Kranbahnen und die Kranbremskräfte wurden in jeder Stützenreihe durch Vollwandrahmen aufgenommen. Die Stützenentfernung in Richtung der Kranbahnen beträgt 12 m. Da Walzträgerpfetten in der üblichen Form bei dieser Stützenentfernung zu große Durchbiegungen ergaben und Gitterpfetten wegen ihrer unruhigen Wirkung nicht in Frage kamen, wurden die Pfetten in die Ebene des Binderuntergurtes gelegt und mittels Hängestangen nach dem bekannten Patent der Zeppelin Hallenbau G. m. b. H., Berlin, an den Binderobergurten aufgehängt, so daß die

Abb. 2. Gesamtansicht.

Binder in den von den Oberlichtern gebildeten Dreiecken liegen. Bei dieser Anordnung ist der Knicksicherheit der Binderobergurte besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da sie sich elastisch gegen die Pfetten abstützen, deren Steifigkeit für die Knicksicherheit des Gesamtsystems maßgebend ist. Um die Druckkräfte in den Obergurten zu verringern, empfiehlt sich die Verwendung von Gelenkbindern. Sorgfältige, bei anderer Gelegenheit hierüber angestellte statische Untersuchungen ergaben, daß die Berechnung sich ähnlich dem Engeßerschen Verfahren für offene Brücken durchführen läßt. Die statische Berechnung der Pfetten ist sehr einfach, wenn man die Kräfte in den Zugstangen als statisch unbestimmte Größen einführt. Sie führt dann auf Clapeyronsche Gleichungen. Zu beachten ist, daß bei gleichen Binderentfernungen die Binder neben den Endfeldern verhältnismäßig stärker belastet werden als die Mittelbinder. Bemerkenswert ist die aus Abb. 2 ersichtliche äußere Gestaltung des Gebäudes, die den Beweis erbringt, daß sich auch mit Eisenfachwerkwänden eindrucksvolle und gefällige Bauten schaffen lassen, ohne daß es nötig ist, auf die von Architekten bevorzugten massiven Wände zurückzugreifen. Man soll nichts verhüllen und nichts vortäuschen, sondern dem Baustoff und seiner gegebenen Form treu bleiben. Die durch Eisenpfosten und Riegel richtig unterteilten und belebten ebenen Flächen müssen mit den großen Fensterflächen in harmonischer Weise aufgeteilt werden. Dabei dürfen die Flächen nicht zerrissen und zerstückelt werden, sondern die große Linie des Gesamtbildes muß gewahrt bleiben.

Die Aufstellung des Eisengerippes im Gewicht von etwa 1200 t wurde mit einem etwa 30 m hohen fahrbaren Schwenkmast hallenweise durchgeführt und bot nichts Besonderes.

Alle Rechte vorbehalten.

Gefahren in Lichtspielhäusern und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung.

Von Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. **Hoost**, Danzig-Langfuhr.

Die Lichtspielkunst hat sich seit ihrer Entstehung, die erst etwa drei Jahrzehnte zurückliegt, ungewöhnlich rasch entwickelt. In diesem Zeitraum ist dieser technische Zweig sehr schnell aufgeblüht, so daß zurzeit in Deutschland rd. 3700 Lichtspielhäuser vorhanden sind. Die Entwicklung dieser technischen Errungenschaft, die als Kulturfaktor auf das geistige Leben einen großen Einfluß besitzt, hat auch in anderen Staaten eine bedeutende Aufwärtsbewegung. So sind z. B. in England rd. 4000 und in den Vereinigten Staaten rd. 16000 Lichtspielhäuser gezählt worden.

Während die Lichtspielhäuser, soweit sie in den Großstädten errichtet werden, sowohl in architektonischer Hinsicht als auch in luxuriöser Ausstattung wohl auf den Höhepunkt gelangt sind, ist der Bildwerferraum, trotz der Beseitigung vieler technischer Mängel, als Gefahrenzentrum infolge des leicht entflammbaren Zelluloidfilms erhalten geblieben. Bei der bedeutenden Stromstärke der Spiegellampe, die für die Projektion jetzt sehr häufig benutzt wird, hat sich die Entzündungsmöglichkeit des Filmes durch die große Hitze der Lichtstrahlen weiterhin erhöht. Die entsetzlichen Filmbrandkatastrophen der letzten Jahre lassen den Wunsch nach Einschränkung der Brandmöglichkeiten sehr wohl verstehen. Man denke nur an das furchtbare Brandunglück in Harburg, bei dem eine Reihe von Kindern ihr Leben einbüßen mußte, und schließlich auch an die große Katastrophe in Limerick in Irland, die 150 Menschenopfer forderte. Während bei einem Gebäude, das ein Volltheater enthält, die ganze Bühnenfläche mit ihren teilweise leicht entzündlichen Dekorationen durch die große Bühnenöffnung in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Zuschauerraum steht und nur im Falle eines Brandes durch das Herablassen des eisernen Vorhanges von ihm abgetrennt werden kann, ist nach den heutigen Vorschriften die Gefahrenquelle bei Lichtbildvorführungen, der Bildwerferraum, vom Zuschauerraum vollständig feuerbeständig, mit Ausnahme der kleinen Projektionsöffnung, abgetrennt. Im Brandfalle wird aber auch diese Öffnung durch einen sich selbst schließenden Eisenschieber vom Zuschauerraum abgeschlossen.

Man könnte nun der Meinung sein, daß im Zuschauerraum keine Gefahrenquellen vorhanden sind. Aber wie in jedem Versammlungsraum muß auch hier mit der Schwäche der Menschen gerechnet werden, die bei einem geringfügigen Anlaß die Ruhe verlieren und eine Panik herbeiführen. Die Möglichkeit einer solchen läßt sich mit keiner Maßnahme der Technik verhindern. Ein Ruf, ein geringfügiger Brandgeruch oder irgendwelche Anzeichen von einem etwaigen kleinen Filmbrande im Vorführerraum wird falsch gedeutet, und die Menschenmenge, von Angst erfüllt, ist nicht mehr zu halten. Sie will ins Freie, und es ist deshalb notwendig, die Ausgangverhältnisse so anzulegen, daß der Zuschauerraum in wenigen Minuten entleert werden kann. Innerhalb der Platzreihen, die in einem festen Abstande gehalten werden müssen, ist kaum ein gefährliches Gedränge zu erwarten, da der Besucher durch die Rückenlehne der vorderen und der eigenen Platzreihe einen sicheren Halt zu beiden Seiten besitzt. Anders liegen die Verhältnisse an den Ausgangtüren des Zuschauerraumes. Hier muß auf alle Fälle ein Gedränge eingeschränkt oder ganz vermieden werden, denn eine größere Zahl drängender Menschen braucht, um durch eine Türöffnung zu gelangen, eine bedeutend längere Zeit als eine geordnete Schar. Schon ein von etwa 50 Personen ausgeübtes Gedränge kann den am meisten Eingeklemmten erheblichen körperlichen Schaden zufügen. Auch können infolge des starken Druckes Ohnmachtfälle herbeigeführt werden, die Personen zum Niederstürzen bringen, worauf sie dann zertreten werden. Vor einer zu kleinen Türöffnung werden die Menschen so stark zusammengepreßt, daß sie kaum noch vorwärts können. Sie bilden einen Bogen, deren Konstruktionsglieder aus menschlichen Körpern bestehen. Durch die nachdrängende Masse, die man als Belastung bezeichnen kann, werden die einzelnen Bogenelemente stark zusammengedrückt, so daß sie sich in einer größeren Fläche berühren. Hierdurch werden die Querfugen vergrößert, wodurch der Bogen eine größere Standfestigkeit erhält. Die Menge ist sodann zu jeder Bewegung unfähig. Das Gedränge läßt sich dadurch verringern, daß eine günstigere Verteilung der Ausgänge vorgenommen wird. Dieses, nämlich die Dezentralisation der Besucher, liegt allein in der Hand des Baumeisters. Einbauten in den Gängen und insbesondere kurz vor den Ausgängen sind unbedingt zu vermeiden, da an solchen Vorsprüngen die herausflutende Menge sich staut und eine rasche Leerung unmöglich wird. Vorspringende Ecken und Einbauten bilden nämlich ein äußerst günstiges Auflager für den aus Menschenkörpern gebildeten Bogen. Um auch in der Dunkelheit, bei einem Versagen der Hauptbeleuchtung, die Entleerung des Zuschauerraumes gefahrlos herbeizuführen, ist es notwendig, eine Notbeleuchtung anzuordnen. Diese muß alle Rückzugswege ausreichend erleuchten. Ins Freie führende Türen erhalten als Kennzeichnung rotes Licht. Beim Vorhandensein von Stufen sind diese im Sicherheitsinteresse durch eine an die Notbeleuchtung angeschlossene Stufen- oder Bodenbeleuchtung ausreichend zu beleuchten.

Während der Zuschauerraum die oben geschilderten Gefahrenquellen besitzt, die man durch günstige bauliche Maßnahmen und Einrichtungen auf ein Mindestmaß einschränken kann, ist das Gefahrenzentrum nur durch feuerfeste Umschließung örtlich zu begrenzen. Solange noch der leicht entzündliche Nitrozellulosefilm und nicht der unverbrennbare Film Verwendung findet, anderseits auch das kalte Licht noch nicht erfunden ist, wird die Möglichkeit eines Brandes bestehen bleiben. Der Nitrozellulosefilm besteht aus $^2/_3$ Zellulose und $^1/_3$ Kampfer. Durch den Kampferzusatz wird die gefährliche Eigenschaft der Nitrozellulose, nämlich die bedeutende Explosionsfähigkeit, aufgehoben. Die anderen Eigenschaften der Nitrozellulose, wie die leichte Entzündlichkeit und insbesondere die Eigenschaft, sich zu zersetzen, sind in unverminderter Größe geblieben. Die Verbrennung von Nitrozellulose geschieht fünfmal so schnell als die von Papier. Der Verbrauch von Sauerstoff ist deshalb ein ganz bedeutender, und es treten aus diesem Grunde leicht Stichflammen auf, und zwar nach der Richtung hin, aus der die Zufuhr von neuer Luft stattfindet. Tritt die Zersetzung eines Filmes ein, so entstehen Dämpfe und Gase, die bei der chemischen Zusammensetzung vieler Filme äußerst giftig sind. Diese gasförmigen Zersetzungsprodukte enthalten oft starke Prozentzätze von Blausäure, Kohlenoxydgas und salpetrigen Dämpfen. Außerdem sind die Gase in höchstem Maße brennbar. Mischt sich dieses Zersetzungsgas in einem bestimmten Verhältnis mit Luft, so kann, wie

bei vielen Gasmischungen mit Luft, im Falle der Entzündung eine Explosion auftreten. Die folgenden Berechnungen sollen klarstellen, welche bedeutende Wärmeentwicklung der Brand einer normalen Filmrolle hervorruft.

Ein Film von etwa 250 m Länge hat ein Gewicht von 1650 g. Da ein Filmband aus nahezu reiner Zellulose besteht, verbrennen somit bei völliger Vernichtung durch Feuer 1650 g Zellulose. Chemisch reine Zellulose besitzt einen Heizwert von 4200 Wärmeeinheiten (kcal), so daß bei vollkommener Verbrennung von 1650 g Zellulose $C_6H_{10}O_5$ zu CO_2 und H_2O sich eine Wärmemenge von $1{,}65 \cdot 4200 = 6930$ kcal ergibt. Die Größe der auftretenden Temperaturerhöhung ergibt sich aus folgender Berechnung: 1 m³ Luft wiegt bei 760 mm Barometerstand und 20° C Wärme 1,205 kg. Von dieser Menge sind 23,56% oder 0,284 kg Sauerstoff und 76,44% oder 0,921 kg Stickstoff. Zur Verbrennung der chemisch reinen Cellulose $C_6H_{10}O_5$ zu Kohlensäure $= CO_2$ und Wasser H_2O werden 12 Gewichtsteile Sauerstoff = 12 O gebraucht. Die chemische Formel lautet:

$$C_6H_{10}O_5 + 12\,O = 6\,CO_2 + 5\,H_2O.$$

Die Atomgewichte sind folgende:

$$C = 12;\quad H = 1;\quad O = 16.$$

Zur Verbrennung von $C_6H_{10}O_5 = 6 \cdot 12 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 16 = 162$ g Zellulose sind somit $12 \cdot 16 = 192$ g Sauerstoff notwendig, oder in 192 g Sauerstoff können 162 g Zellulose verbrennen. In 1 m³ Luft, d. h. 284 g Sauerstoff verbrennen sodann 239,6 g Zellulose; 239,6 g Zellulose geben bei der Verbrennung $0{,}2396 \cdot 4200 = 1005$ kcal. Die Verbrennungsgase von 1 m³ Luft und 239,6 Zellulose haben folgende Zusammensetzung:

$$\begin{aligned} &\text{Stickstoff } N \ldots\ldots\ldots\ldots = 921 \text{ g} \\ &\text{Kohlendioxyd } CO_2 = (12 + 2 \cdot 16) \cdot 6 \cdot \frac{239{,}6}{162} = 390 \text{ „} \\ &\text{Wasser } H_2O = (2 \cdot 1 + 16) \cdot \frac{5 \cdot 239{,}6}{162} \ldots = 133 \text{ „} \\ &\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad 1444 \text{ g} \end{aligned}$$

1 kg = 1000 g dieser Verbrennungsgase setzt sich zusammen aus:

$$\begin{aligned} N \ldots &= 638 \text{ g} \\ CO_2 \ldots &= 270 \text{ „} \\ H_2O \ldots &= 92 \text{ „} \\ \text{zusammen } &1000 \text{ g} \end{aligned}$$

Die spezifische Wärme jedes dieser Verbrennungsgase ist für 1 kg bei konstantem Druck:

$$N = 0{,}244;\ CO_2 = 2 \cdot 0{,}217 = 0{,}434;\ H_2O = 2 \cdot 0{,}480 = 0{,}960.$$

Da für CO_2 und H_2O die spezifischen Wärmewerte bei hohen Temperaturen stark anwachsen und bei 2000° schon mehr als das Doppelte betragen, so ist für diese beiden Gase der zweifache Wert eingesetzt.

Die spezifische Wärme der Summe dieser Verbrennungsgase ergibt sich zu:

$$0{,}638 \cdot 0{,}244 + 0{,}270 \cdot 0{,}434 + 0{,}092 \cdot 0{,}96 = 0{,}156 + 0{,}117 + 0{,}088 = 0{,}361.$$

Die errechneten 1005 kcal haben somit 1,444 kg Verbrennungsgase von der spezifischen Wärme 0,361 zu erhitzen, wonach sich folgende theoretische Höchsttemperatur ergibt:

$$t = \frac{1005}{1{,}444 \cdot 0{,}361} = 1930^\circ \text{ C}.$$

Durch die Dissoziation der Kohlensäure und des Wassers werden rd. 300° Wärme verbraucht, so daß der gesamte Wärmeeffekt 1600° beträgt. Um ein Filmband von 250 m Länge, d. h. 1650 g Zellulose zu verbrennen, werden etwa 7 m³ Luft gebraucht. Dieser Luftanteil des Bildwerferraumes wird theoretisch, wie die von mir aufgestellte Berechnung ergibt, auf eine Temperatur von rd. 1600° C gebracht. Dieser hohe Wärmegrad verringert sich sehr rasch und bedeutend durch die herumliegenden Luftschichten von einer weitaus niedrigeren Temperatur.

Das vorstehende theoretische Ergebnis wird durch Berichte in der Praxis vollauf bestätigt.

Welche Feuerschutzeinrichtungen müssen nun im Bildwerferraum angewandt werden, um der Verhinderung eines Brandes zu dienen? Die größte Gefahrenquelle liegt im Bildwerfer des Vorführungsapparates. Beim laufenden Apparat kann infolge des raschen Wechsels der Bilder eine Entzündung des Films nicht eintreten. Kommt der Apparat zum Stillstand, so schließt eine selbsttätige Feuerschutzklappe die Licht- und damit auch Wärmezufuhr vom Bildfenster ab, und der leicht entzündliche Film ist geschützt. Neben der Feuerschutzklappe ist noch ein Lichtverschluß vorgesehen, der von Hand zu betätigen geht und das Strahlenbündel abschneidet. Beim Einlegen der Filmrolle müssen beide Verschlüsse vorhanden sein, damit nicht das Filmband von Wärmestrahlen getroffen werden kann. Wenn nun trotz aller Vorsichtsmaßnahmen ein Filmbildchen im Bildfenster zur Entzündung kommt, so muß die Filmführung so konstruiert sein, daß nur dieses einzige Bildchen zerstört wird, und die Verbrennungsgase den Filmbrand in der Führung selbst ersticken. Auch bei den Feuerschutztrommeln ist das sogenannte Filmmaul derart zu konstruieren, daß sein Filmkanal nicht zu weit und eine gewisse Länge besitzt, um die Flamme darin zum Ersticken zu bringen. Ein Hilfsmittel des Filmbrandschutzes sind die Küvetten, die obligatorisch in Frankreich und Belgien eingeführt sind. Die Wirkung einer Kühlküvette besteht darin, daß die Wärmestrahlen beim Passieren einer Wasserschicht eine Abkühlung erfahren. Die Küvette besteht aus einem kupfernen Gefäß mit seitlichen Abschlußwänden aus Glas und ist für ständigen Wasserumlauf eingerichtet. Neben dieser Einrichtung ist in Wien, Amsterdam und Madrid das Gebläse polizeilich vorgeschrieben. Die Anwendung dieser Schutzmaßnahme wurde hauptsächlich durch die Spiegelbogenlampen mit ihren bedeutenden Wärmestrahlen veranlaßt. Durch die Gebläseanlage kommt der Film niemals zur Entflammung, sondern es tritt nur ein Verkohlen des Films unter Rauchentwicklung ein. Durch einen Luftstrom wird die Entzündung des Films im Bildfenster verhindert. Das Kühlgebläse muß aber eine so starke Wirkung haben, daß es die Bildung einer offenen Flamme verhindert. Kommt ein Brand im Bildwerferraum trotz aller Vorsichtsmaßnahmen zustande, so müssen sich die Projektions- und Schauöffnungen durch am Filmstreifen hängende Schieber sofort selbsttätig schließen, so daß im Zuschauerraum niemand das Feuer bemerkt und eine Panik nicht auftritt. Jede Sekunde ist bei einem Filmbrande von großer Bedeutung, da bei der leichten Entzündungsmöglichkeit des Nitrozellulosefilms und ferner seiner bedeutenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines Brandes nur Geistesgegenwart und Ruhe die Beachtung der notwendigen Sicherungsmaßnahmen durchführen läßt. Erst durch die Einführung eines unverbrennbaren Films oder des kalten Lichtes könnte eine gefahrlose Vorführung erzielt werden. Vorläufig sind die vorher angeführten Schutzmaßnahmen und ferner die Geistesgegenwart und Zuverlässigkeit des Vorführers die einzige Möglichkeit, einen Filmbrand zu verhüten.

Die Eisenbetonkonstruktionen in dem Deutschen Studentenhaus zu Danzig.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Prof. **Richard Kohnke**, Danzig.

Unmittelbar neben dem Gelände der Technischen Hochschule Danzig ist das Deutsche Studentenhaus (Abb. 1) nach Entwürfen des Architekten Prof. Dr.-Ing. Phleps errichtet worden. Der Grundstein hierzu wurde im Sommer 1927 gelegt. Dem privatwirtschaftlichen Zweck dieses Gebäudes entsprechend, ist im Sockelgeschoß (Abb. 2) die geräumige Küche mit allen Nebenräumen, wie Kartoffelschälraum, Anrichte, Spülküche, Tageskammer, Kühlraum, Umkleide- und Eßraum für das Küchenpersonal usw. untergebracht. Das Erdgeschoß enthält die Gesellschafts- und Speiseräume (Abb. 3). Dem kleinen und großen Saal (sog. Königsberger Saal) ist eine mit sieben Erkern versehene Kaffeehalle vorgelagert, die freien Ausblick auf den vor dem Studentenhaus gelegenen Sportplatz gewährt. In den Obergeschossen (Abb. 4) sind Verwaltungsräume, Wohnung des Geschäftsführers, Spielzimmer, Barbierstube, Zimmer des Sportarztes, Vervielfältigungsraum, die Telefonkammer, der Gymnastiksaal, die Fechträume usw. vorgesehen.

Das Baugelände war durch Bohrungen als unsicher und ungleichmäßig festgestellt worden. Das abschüssige Gelände zeigte nicht nur auf dem westlichen Teil des Grundstücks Moorschichten, sondern es war auch zu befürchten, daß die anschließenden Hügel Tageswasser in solchen Mengen dem Baugrunde zuführen würden, daß eine Unterspülung der Fundamente erwartet werden konnte. Tatsächlich weisen auch mehrere Häuser in der Nähe dieser Hügel ganz bedeutende Risse auf. Daher wurde der östliche nach der Hochschule zu gelegene Bauteil in gewöhnlichem Stampfbeton fundiert, der westliche Bauteil dagegen mußte wegen der Schlammschicht im Untergrund auf Bohrpfähle aus Eisenbeton gesetzt werden. Der Übergang von der Bohrpfahlgründung zur Flachgründung wurde hergestellt durch steife Eisenbetonbalken und Rundeisenanker bis zu den östlichen Gebäudequerwänden. Auf diesen Fundamenten ist das Sockelgeschoß in Ziegelmauerwerk aufgebaut. Die Decken dieses Geschosses sind in üblicher Weise zum Teil massiv, zum Teil mit Ackermann-Hohlsteinen ausgeführt worden.

Bei der konstruktiven Durchbildung des Erdgeschosses (Abb. 6) ergab sich dagegen aus der Forderung, den kleinen und den großen Saal stützenfrei zu überdecken, eine Aufgabe, deren Lösung zur Anwendung von Eisenbetonkonstruktionen nicht ganz gewöhnlicher Art führte. Die Decke des Königsberger Saales ist — bei annähernd quadratischem Grundriß — als kreuzweise bewehrte Kassettendecke ausgebildet, wobei diese Decke nach beiden Richtungen zusammenhängend mit den anschließenden

Feldern ausgeführt und dementsprechend — zur Erzielung geringerer Feldmomente — berechnet worden ist. Die Randträger dieser Kassettendecke, von denen der auf der Südseite als Wandträger ausgebildet ist (s. unten), ruhen auf vier winkelförmigen Eisenbetonsäulen, die zusammen mit den Trägern biegungsfeste Rahmen bilden. Es ist hierdurch eine stützenfreie Überdeckung eines Raumes von etwa 10×11 m Grundfläche erreicht worden (Abb. 6). Die Untersicht der Kassettendecke ist unverkleidet geblieben (Abb. 6a).

Bei dem kleinen Saal ist die Schaffung eines stützenfreien Raumes von etwa 11×11 m Fläche mit ebener Deckenuntersicht dadurch ermöglicht worden, daß die Decke über diesem Raum an einem der vier Rahmenbinder angehängt worden ist, die im Obergeschoß angeordnet werden mußten, um die Lasten der darüberliegenden Geschosse von den weitgespannten Saaldecken fernzuhalten (Abb. 5, 7 u. 8). Die Ausbildung dieses rd. 11 m weitgespannten, als Zweigelenkrahmen mit Zugband berechneten und ausgeführten Binders „a" ist aus Abb. 10 u. 12 ersichtlich. Zur Aufnahme der Auflagerkräfte dieses Rahmens sind schmale Eisenbetonsäulen vorgesehen, die, in den Wänden liegend, die Lasten unmittelbar auf Fundamentsockel übertragen.

Zwei Rahmen gleicher Spannweite und ähnlicher Ausbildung (Binder „b") sind zu beiden Seiten des großen Saales angeordnet und liegen auf den vorher erwähnten winkelförmigen Eisenbetonstützen (Abb. 13).

Der Abstand dieser beiden Rahmen ist noch durch einen Rahmenbinder „c" unterteilt, der wegen der darunterliegenden Decke des großen Saales von Außenwand zu Außenwand gespannt werden mußte und daher — bei rd. 14,8 m Spannweite — beträchtliche Abmessungen erforderte (Abb. 11 u. 14).

Abb. 1. Deutsches Studentenhaus Danzig.

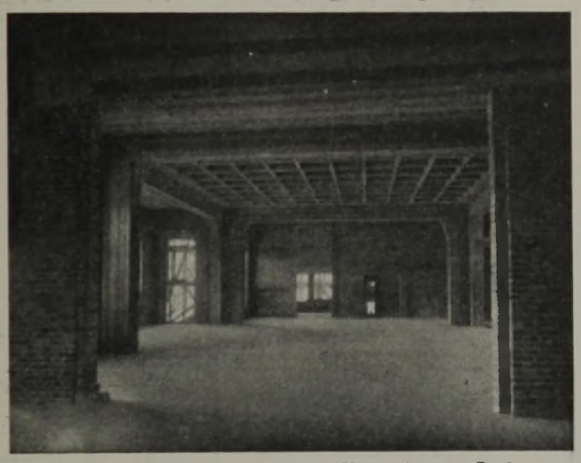


Abb. 6a. Kassettendecke des Königsberger Saales.

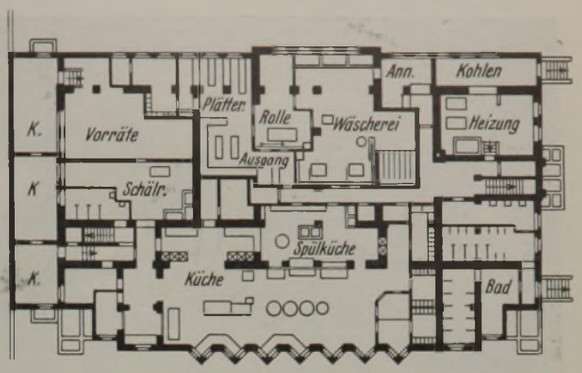


Abb. 2. Sockelgeschoß.

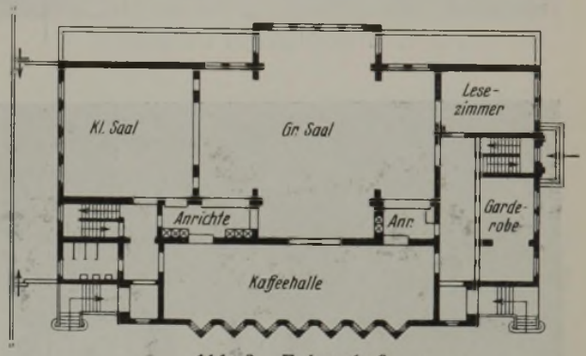


Abb. 3. Erdgeschoß.

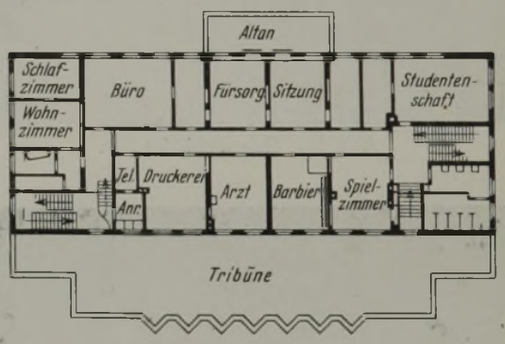
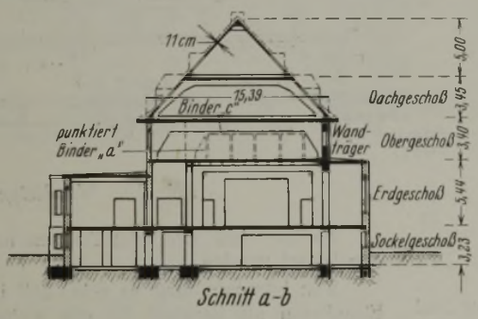
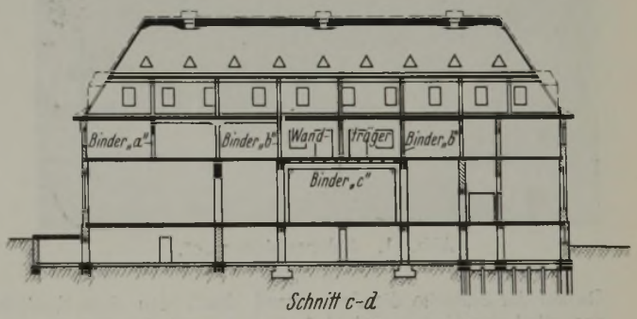
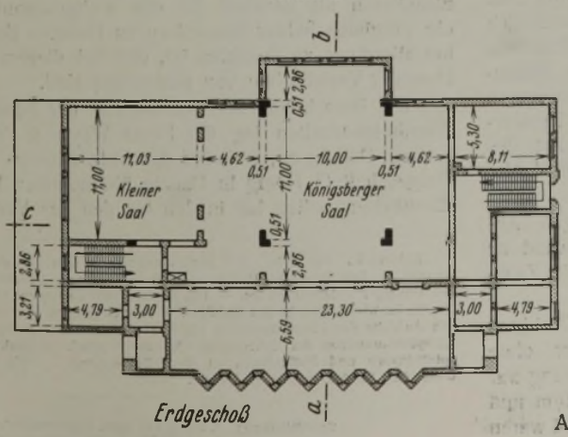


Abb. 4. Obergeschoß.







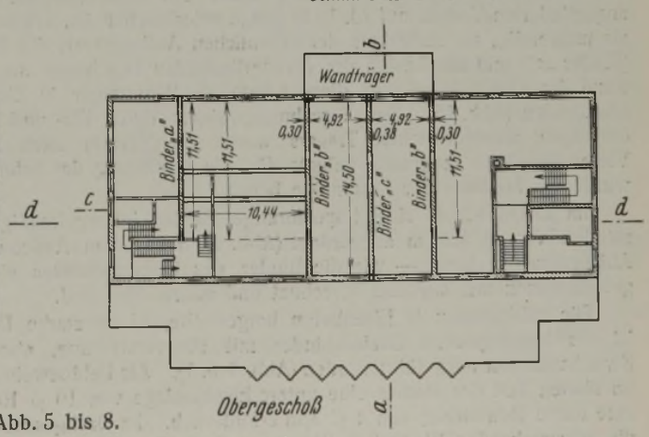


Abb. 5 bis 8.
Grundrisse und Schnitte mit Angabe der Tragkonstruktionen.

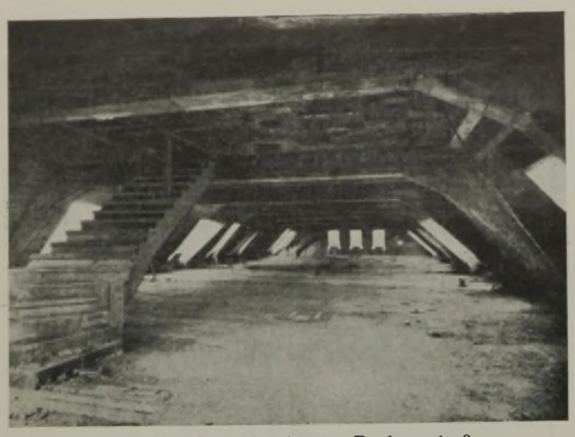


Abb. 9. Trapezbinder im Dachgeschoß.

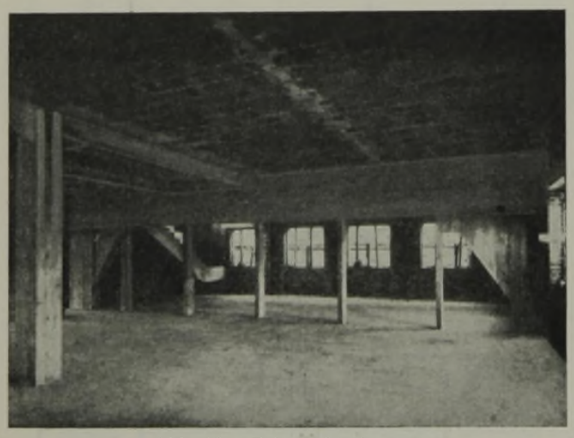


Abb. 10. Rahmenbbinder „a".

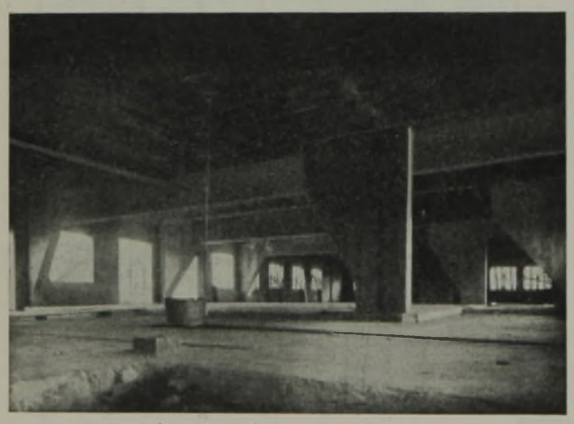


Abb. 11. Rahmenbinder „c".

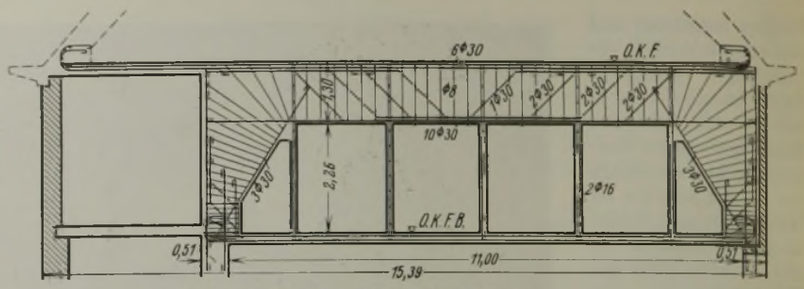


Abb. 12. Rahmenbinder „a".

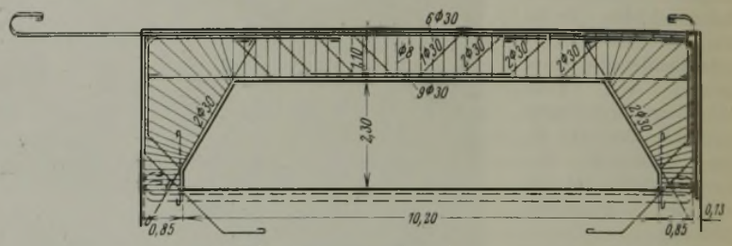


Abb. 13. Rahmenbinder „b".

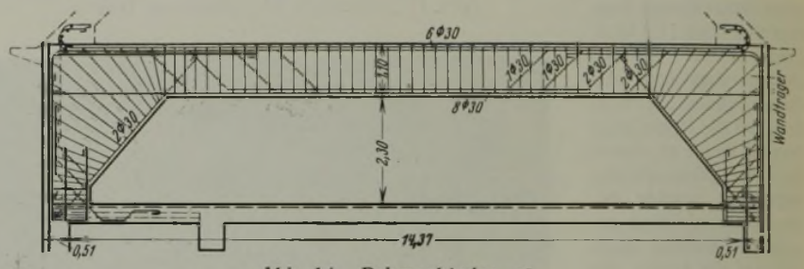


Abb. 14. Rahmenbinder „c".

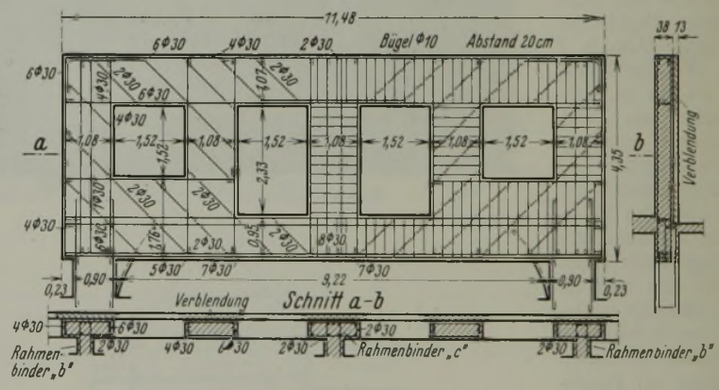


Abb. 15. Wandträger.

Da auf der Südseite die Außenwand durch den dem Königsberger Saal angegliederten Vorbau auf rd. 10 m Länge unterbrochen ist, erwies es sich als notwendig, zur Aufnahme der erheblichen Auflagerkraft des Rahmens (Binder „c") und der Lasten der darüberliegenden Geschosse die Außenwand im Obergeschoß auf diese Länge als Wandträger in Eisenbeton auszubilden (Abb. 15). Der Berechnung dieses durch Tür- und Fensteröffnungen unterbrochenen Trägers wurde ein System nach Art des Vierendeelträgers zugrunde gelegt; für die Ermittlung der Schnittkräfte wurde die Methode der Festpunkte benutzt.

Im Dachgeschoß sind trapezförmige Binder in regelmäßigen Abständen von rd. 5,20 m angeordnet (Abb. 9), die — von Außenwand zu Außenwand gespannt — wie die Binder des Obergeschosses als Zweigelenkrahmen mit Zugband berechnet und ausgebildet sind.

Die vollkommen in Eisenbeton hergestellte, 11 cm starke Dachhaut ist als biegungsfester Dreieckbinder mit Firstverstärkung, aber ohne Zwischenbalken ausgeführt worden (Abb. 5 u. 7). Als Feldbewehrung war im oberen Teil des Daches eine untere Eiseneinlage von 10 ⌀ 10/m und eine obere Bewehrung von 4 ⌀ 8/m erforderlich. Im Dachgeschoß waren die entsprechenden Werte 8 ⌀ 8/m bezw. 5 ⌀ 6/m.

Ebenso sind sämtliche Treppen nach üblicher Weise in Eisenbeton konstruiert worden.

Von Interesse mag es sein, daß bei der Wahl zwischen Eisen und Eisenbeton als Baustoff für die weitgespannten Rahmenkonstruktionen ein Vergleich beider Bauweisen zu Gunsten des Eisenbetons ausfiel, wobei allerdings zu beachten ist, daß bei diesem Vergleich die besonderen Danziger Verhältnisse von Bedeutung sind.

Die Berechnung und Ausführung der Fundierung und der gesamten Eisenbetonarbeiten lag der Firma Wayss & Freytag A.-G., Zweigniederlassung Danzig ob, während die Erd-, Maurer- und Zimmererarbeiten das Baugeschäft G. König in Danzig übernommen hatte. Die Bauleitung der Eisenbetonarbeiten lag in den Händen des Verfassers.

INHALT: Zur Feier des fünfundzwanzigjährigen Bestehens der Technischen Hochschule Danzig. — Der Danziger Hafen. — Wirtschaftliche Fortschritte beim Schöpfwerkbau im Gebiete des Danziger Deichverbandes. — Die Wasserkraftnutzung im Gebiete der Freien Stadt Danzig. — Neuere Entwicklungen in den Seehäfen. — Der Schwebelift, eine neue Bauweise von Luftseilbahnen. — Die Aufgabe der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Technischen Hochschule Danzig. — Das Kompressorenhaus der Ruhrchemie Aktiengesellschaft in Sterkrade-Holten. — Gefahren in Lichtspielhäusern und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung. — Die Eisenbetonkonstruktionen in dem Deutschen Studentenhaus zu Danzig.

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