

Abteilung I — Binnenschifffahrt

Mitteilung 1

Mittel zur Überwindung großer Fallhöhen durch die Schifffahrt. — Vergleich der verschiedenen Lösungen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. — Fertiggestellte und geplante Bauwerke. — Erzielte Ergebnisse.

Von Heinrich Rütgerodt, Oberregierungsbaurat, Nürnberg,
Dr.-Ing. Martin Arens, Oberregierungsbaurat bei der Wasser- und
Schiffahrtsdirektion Münster.

Thema: „Schiffshebwerke in Deutschland“.**Zusammenfassung:**

Hohe Stufen an Wasserstraßen sind mit Hebwerken zu überwinden, wenn der Baugrund wechselnde Beanspruchungen unter Schleusenmauern nicht verträgt oder wenn die — mit dem Gefälle schnell wachsenden — Bau- und Betriebskosten Schleusen unwirtschaftlich machen.

An den norddeutschen Wasserstraßen stehen drei Hebwerke, sämtlich mit lotrechter Förderung in wassergefüllten Trögen in Betrieb und zwar

seit 1898 Henrichenburg mit 14,5 m Gefälle für 700 t-Schiffe,
seit 1934 Niederfinow mit 36,0 m Gefälle für 1000 t-Schiffe und
seit 1938 Rothensee mit 18,7 m Gefälle für 1000 t-Schiffe.

In Henrichenburg wird der Trog von fünf Schwimmern, in Rothensee von zwei Schwimmern getragen, die unter der Längsachse des Troges stehen; in Niederfinow hängt er an 256 Drahtseilen mit Gegengewichten. Henrichenburg und Rothensee werden an vier Spindeln, Niederfinow an vier Zahnstockleitern geführt. Alle Antriebe sind elektrisch. Die drei Hebwerke arbeiten einwandfrei und haben die Betriebssicherheit für beide Bauarten bewiesen.

Es wird im allgemeinen auch künftig genügen, Hebwerke der Wasserstraßen IV 85 m lang zu bemessen. Für Schleppkähne sind auf jeden Fall leistungsfähige Treidelanlagen nötig.

Längere Tröge und breitere Tröge müßten ihres größeren Gewichtes wegen an mehr als vier Auflagern geführt werden. Ihr Tragwerk wäre deswegen als elastischer Rost unter den Trogboden zu legen.

Schwimmerhebwerke haben leichtere Führungsgerüste und nicht so viel empfindliche Maschinenteile wie Hebwerke mit Gegengewichten, brauchen aber kräftigere Antriebe zur Sicherung gegen Gleichgewichtsstörungen, weil beim Ersaufen eines Schwimmers größere Lasten frei werden. Schwimmer werden auch für höhere Gefälle als in Henrichenburg und Rothensee verwendet werden können. Wo der Untergrund nicht gestattet, tiefe Schächte auszuführen, können die Schwimmer in wassergefüllte Türme gesetzt werden, die seitlich vom Hebewerk stehen.

Gegengewichts-Hebwerke sind in der Hubhöhe an keine Grenzen gebunden. Weil ihr Gleichgewicht weniger gefährdet ist, genügt bei schweren Hebwerken dieser Bauart eine geringere Anzahl von Tragjochen. Die Seile sind am einfachsten an die auskragenden Arme der Joche anzuschließen. Die Seilscheiben und die Gegengewichte können dann auch für schwere Hebwerke auf kleinem Raum in Türmen untergebracht werden, die wie Schwimmtürme seitlich vom Troge stehen, dabei müssen aber Verbreiterungen der Trogkammern in Kauf genommen werden. Doppelhebwerke mit Gegengewichten erfordern daher breitere Vorhöfen als Doppelhebwerke mit Schwimmern.

Wo einschiffige Hebwerke den Verkehr nicht bewältigen, kann den Trögen leichter die doppelte Breite als die doppelte Länge gegeben werden. Bei großen Gefällen kann die Leistung schon durch Steigern der Hubgeschwindigkeit erhöht werden, wobei dann aber auf eine Selbstsperrung der Antriebe verzichtet und die Betriebssicherheit durch stärkere oder zahlreichere Bremsen verbürgt werden muß.

Für die Führung des Troges verdienen Spindeln den Vorzug vor Zahnstockleitern, weil die an Spindeln laufenden Muttern jede „Katastrophenlast“ d. h. jede denkbare Gleichgewichtsstörung aufnehmen können, ohne daß zusätzliche Sicherungsanlagen zum Abfangen des Troges nötig wären.

Literatur:

Henrichenburg:

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, Nr. 32
Zentralblatt der Bauverwaltung 1895, S. 509 und 1896, S. 306

Niederfinow:

Bautechnik 1927, S. 319
Bautechnik 1934, S. 161, 176, 411, 522, 536
Bautechnik 1936, S. 157, 333, 345, 360

Rothensee:

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1934, S. 1108 und 1230
Bauingenieur 1938, S. 599
Bautechnik 1938, S. 618

	Seite
Gliederung:	
Vorbemerkung	83
A Vorbedingungen für die Wahl von Hebewerken	83
B Betriebserfahrungen und Leistungen	84
I. Henrichenburg	84
II. Niederfinow	86
III. Rothensee	87
C Anregungen zu künftigen Entwürfen	90

Vorbemerkung:

Die Mitteilung beschränkt sich auf Hebewerke mit lotrechter Förderung in offenen wassergefüllten Trögen, sie nennt die Gründe für die Wahl solcher Hebewerke anstelle von Schleusen und berichtet über Betriebserfahrungen an den Hebewerken in Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee. Aus diesen Erfahrungen sind vom erstgenannten Verfasser einige Anregungen zu künftigen Entwürfen von senkrecht fördernden Hebewerken abgeleitet; sie sind auf die Verhältnisse abgestellt, die heute an dem geplanten Main-Donau-Kanal zu erwarten sind.

A. Vorbedingungen für die Wahl von Hebewerken

Neue Wasserstraßen werden so zu führen sein, daß sie die Höhenunterschiede des Geländes mit möglichst wenig Stufen überwinden. Hierdurch wird zwar die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße (d. h. die Frachtmenge, die jährlich befördert werden kann) nicht gesteigert, es wird aber die Reisezeit verkürzt, also an Schiffsraum und an Frachtkosten gespart.

Die Stufenhöhe, die von Schleusen bewältigt werden kann, ist begrenzt. Hohe Schleusen erfordern massive Kammerwände; unter diesen Wänden und unter den Kammersohlen entstehen beim Füllen und Leeren der Schleusen stark wechselnde Bodendrucke. Hohe Schleusen sind deswegen nur dann auf die Dauer zuverlässig, wenn ihr Untergrund und ihre Bauweise ein ungleiches Setzen der Bauteile ausschließen, das die Dichtigkeit der unvermeidlichen Dehnungsfugen in Frage stellen könnte. Unter senkrecht fördernden Hebewerken bleibt dagegen der Baugrund von wechselnden Beanspruchungen verschont, auch sind die Fugen ihrer Trochkammern nicht wie Schleusenfugen ständig stark wechselnden Wasserdrücken ausgesetzt.

Mit steigendem Gefälle wachsen die Baukosten für Schleusen schneller als für Hebewerke. Von welchem Gefälle an Hebewerke wirtschaftlicher als Schleusen werden, hängt jeweils von den örtlichen Verhältnissen ab, die die Bau-

weisen bestimmen; auch die Kosten für den Ersatz des Schleusungswassers und die Instandhaltung des Bauwerks sowie die Lohnaufwendungen für den Betrieb haben hierauf Einfluß (Hebewerke erfordern eine bessere Besetzung als Schleusen).

Von den zahlreichen Vorschlägen, die in den letzten Jahrzehnten für Hebewerke in neuen Wasserstraßen gemacht worden sind, haben bisher nur zwei ihre praktische Verwendbarkeit bewiesen: Das Hebewerk mit Mittelschwimmern und das Hebewerk mit Gegengewichten. Diese Systeme liegen auch den Planungen zugrunde, die für ein zweites Hebewerk in Henrichenburg und für die Hebewerke an drei Stufen des Main-Donau-Kanals (mit Hüben von 28 bis 46 m) in Arbeit stehen.

B. Betriebserfahrungen

Die Entwürfe und die Ausführungen der drei Hebewerke in Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee sind in den Veröffentlichungen behandelt, die am Schluß dieses Beitrages zusammengestellt sind; besonders sei auf den Aufsatz von Dr.-Ing. Ellerbeck in der „Bautechnik 1927“, S. 319, verwiesen, in dem die Wahl der Bauart für Niederfinow begründet ist. Im folgenden sind nur die Grundzüge der Bauart und die Hauptabmessungen wiederholt.

I. Henrichenburg

Das Hebewerk ist die oberste Stufe des Dortmund-Ems-Kanals, es hat 14 m Gefälle. Sein Trog ist mit 68,0 m Länge, 8,6 m Breite und 2,5 m Wassertiefe für Kähne mit 600—700 t Tragfähigkeit bemessen. Der Trog mit Wasser und die Schwimmer wiegen zusammen 3100 t. Die fünf Schwimmer von 13 m Höhe und 8,3 m Außendurchmesser haben je rd. 620 m³ Inhalt und 120 t Eigengewicht. Die Schwimmerschächte sind 9,2 m weit und reichen rd. 30 m tief unter die Trogkammersohle. Der Trog läuft an zwei Portalrahmen, die 43,5 m Abstand voneinander haben. Zur Waagrecht-Führung dienen vier in die Portale eingebaute (zweigängige) Spindeln von 24,6 m Länge und 280 mm äußerem Durchmesser; sie werden über Verbindungswellen von einem gemeinsamen (in einer Brücke über dem Trog angeordneten) Gleichstrommotor gedreht und tragen die am Trog befestigten stillstehenden Muttern. Die Hubgeschwindigkeit beträgt 0,1 m/s.

Das Hebewerk steht seit 1898 im Betriebe. Über seine Bewährung in den ersten 50 Jahren ist von Scheunemann in der „Wasserwirtschaft“ 1948/49, S. 46—51 eingehend berichtet. Es hat bisher über 500 000 Hübe ausgeführt, ohne daß sich ein Unfall mit einem nennenswerten Schaden am Hebewerk selbst oder an den geschleusten Fahrzeugen ereignet hätte.

Entgegen der Absicht der Erbauer haben sich die Spindeln nicht als selbstsperrender Antrieb erwiesen. Der Hebewerkstrog wird nicht wie in Niederfinow und in Rothensee in seinen Endlagen mit den Haltungsabschlüssen verklammert. Auch die keilförmigen in den Spalt eingeschobenen Dichtungsrahmen halten den Trog nicht fest. Da nun auch die einzige Triebwerksbremse, die am Spindelmotor angeordnet ist, zu schwach bemessen war, hat sich der Trog tatsächlich einige Male von selbst aus seiner untersten Stellung um kurze Strecken nach oben bewegt, als der Unterwasserstand und mit ihm die Trogfüllung durch Haltungsschwankungen abgemindert wurden. Stärkere elektrisch miteinander gekuppelte Bremsen an allen vier Führungsspindeln erwiesen sich als erforderlich.

Die gesamte Anlage wurde zuerst 1916 nach 17jähriger Betriebsdauer und ein zweites Mal im Winter 1938/39 gründlich überholt. Der bauliche Zustand erwies sich bei beiden Untersuchungen als durchaus einwandfrei. Stärkere Rostschäden waren nur an einzelnen Bodenblechen des Troges eingetreten, auf denen die Seile der Spille geschliffen hatten. Die erste Auswechslung von Spindelmuttern war 1916 nach rd. 80 000 Hüben nötig, später konnte ihre Lebensdauer durch Wahl härterer Bronze verlängert werden.

Die Schwimmerschächte waren durch Ablagerungen aus dem Spaltwasser stark verschlammmt; zur Abhilfe wurden am Oberhaupt und Unterhaupt Quermauern in die Trogkammer eingebaut, die das Spaltwasser zurückhalten und den Umläufen nach den Pumpensäufen am Unterwasser zuleiten.

Durch Fernwirkungen des Bergbaues ist das gesamte Hebewerk, ohne dabei Schaden zu leiden, um mehr als 10 cm abgesunken.

Als zweiter Aufstieg zur Dortmunder Haltung besteht eine 95 m lange, 10 m weite Schachtschleuse mit fünf offenen Sparbecken; auf sie sind die Fahrzeuge mit größeren Abmessungen und mehr als 2,0 m Tiefgang angewiesen. (Die zulässige Tauchtiefe wird Ende 1958 auf 2,5 m erhöht werden.)

Im folgenden sind die Kosten des Schiffshebewerkes und der Schachtschleuse Henrichenburg für Betrieb, Unterhaltung, Erneuerung und Rückpumpen des Schleusenwassers in den Jahren 1952 bis 1955 miteinander verglichen:

		Schiffshebewerk		Schachtschleuse	
		1952—1955	also jährl. i. M.	1952—1955	also jährl. i. M.
Betrieb	DM	304 700	76 200	190 900	47 700
Unterhaltung	DM	198 200	49 500	139 200	34 800
Erneuerung	DM	59 600	14 900	182 000	45 500
Pumpkosten	DM	—	—	301 700	75 400
	DM	562 500	140 600	813 800	203 400
<u>Verkehrsleistung</u>					
Tragfähigkeit	t	27 456 581	6 864 000	16 164 151	4 041 000
Ladung	t	12 600 596	3 150 000	7 729 568	1 932 000
<u>Mithin Kosten für das Durchschleusen</u> (gemessen nach der Tragfähigkeit)					
	Pfennig/t		2,05		5,04

Bemerkungen:

1. Sämtliche Kosten sind ohne Einrechnung von Verzinsung und Abschreibung der Anlagekosten ermittelt worden, enthalten aber angemessene Zuschläge für die Allgeimeinkosten der Verwaltung.

2. Unter „Erneuerung“ werden die nicht regelmäßig wiederkehrenden größeren Instandsetzungen verstanden, die sich aus der allgemeinen „Unterhaltung“ herausheben.

3. Die Pumpkosten für das Rückpumpen der Spaltwasser- und Undichtigkeitswassermengen des Hebewerkes sind als unerheblich außer Ansatz geblieben. Für das Rückpumpen des Betriebsschleusenwassers der Schachtschleuse sind die Wassermengen nach der Anzahl der Schleusungen unter Berücksichtigung der Wasserersparnis durch die Sparbecken ermittelt und danach die Pumpkosten errechnet worden.

4. Die Schachtschleuse wird häufig nicht voll ausgelastet, weil die Schifffahrt den schnelleren Weg durch das Hebewerk und die ruhigere Lage der Schiffe im Hebewerkstrog bevorzugt. Dadurch ergibt sich eine bessere Ausnutzung des Hebewerkes im Vergleich zur Schachtschleuse, die sich auch im Einheitskostenbetrag je Tragfähigkeits-Tonne für die Durchschleusung mit zu erkennen gibt. Es wäre also grundsätzlich falsch, zu schließen, daß die Schleusung durch die Schachtschleuse immer viel teurer als die Benutzung des Hebewerkes ist.

Die höchste Jahresleistung der letzten Zeit wurde 1952 erreicht. Das Hebewerk allein beförderte dabei Schiffe mit rd. 7 200 000 t Tragfähigkeit und 3 300 000 t Ladung.

Das Oberwasser der Stufe Henrichenburg wird in den nächsten Jahren wegen des Abbaus von Kohle im Dortmunder Bezirk um mehrere Meter gesenkt werden. Entwürfe für einen dritten Abstieg stehen in Arbeit, es ist z. Z. noch nicht zu übersehen, ob dabei eine Schleuse oder ein Hebewerk den Vorrang verdient. Des weiteren wird geprüft, ob nach seiner Fertigstellung die beiden vorhandenen Abstiege im Betrieb bleiben müssen; in diesem Falle werden sie umzubauen sein.

II. Niederfinow

Der Großschiffahrtsweg Berlin-Stettin ist als Erweiterung des alten Finowkanals erbaut und 1914 in Betrieb genommen. Er erreicht die Oder an einem Steilhange mit recht ungünstigen Baugrundverhältnissen; den Abstieg vermittelte zunächst eine Schleusentreppe. Bauliche Mängel dieser Schleusen gaben den Anlaß zum Bau des Hebewerkes Niederfinow. Es wurde 1934 vollendet. Sein Gefälle beträgt bei den gewöhnlichen Wasserständen rd. 36 m; die Hubgeschwindigkeit ist 0,12 m/s.

Der Entwurf des Hebewerkes ist auf Grund sehr eingehender Voruntersuchungen zustande gekommen, es war hierbei auch zu berücksichtigen, daß die Gründung 20 m tief unter das Gelände hinabreichen mußte und nur im Druckluftverfahren ausgeführt werden konnte.

Der Trog des Hebewerkes ist 85 m lang, 12 m breit und 2,5 m tief, er wiegt mit Wasser rd. 4300 t. Er hängt an 256 Drahtseilen von 52 mm Stärke. 192 dieser Seile tragen rd. 22 t schwere Gegengewichte; 64 Seile tragen Rahmen, die je 12 Gewichte zu einer Gruppe zusammenfassen und etwa abreißen Gewichte auffangen. Die Lager der 128 Seilscheiben jeder Seite stehen in einer Flucht. Die Seilscheiben haben 3,5 m Durchmesser, sie sind quer zur Troglängsachse angeordnet und mußten dabei mindestens 1,11 m Abstand voneinander erhalten, es war infolgedessen erforderlich, auf jede Seilscheibe zwei Seile zu legen. Dies hat sich nicht bewährt, da die geringer belasteten Seile der Rahmen sich lockerer auf die Scheiben legen als die der Gewichte, sie wickeln sich deswegen auf größeren Durchmessern ab, rutschen und nutzen sich stärker ab.

Die Gerüste, die die Seilrollen tragen und in denen die Gegengewichte laufen, sind sehr schmal gehalten; sie sind, obwohl sie oben zu Rahmen verbunden sind, gegen Schwanken zusätzlich seitlich abgestrebt. An diesen Gerüsten ist der Trog etwa in seinen Viertelpunkten geführt. Zu seiner Bewegung und

Waagerechtführung dienen 4 Ritzel, diese laufen an Zahnstockleitern am Gerüst. Die Ritzel können jedes höchstens je rd. 50 t Last aufnehmen, dies entspricht einem Fehler der Wassertiefe im Troge von rd. 10 cm. Bei mehr als 30 t Fehllast beginnen die entsprechend gelagerten Ritzel ferdernd nachzugeben; dabei werden die Antriebe abgeschaltet und die Bremsen ausgelöst. Der Trog setzt sich nach etwa 3 cm Federweg starr auf vier Drehriegel auf. Die Drehriegel sind 1,4 m lange Spindeln mit 0,93 m Außendurchmesser, sie laufen mit Spiel, im allgemeinen also lastfrei in den selbstsperrenden Gewindegängen, die auf je $\frac{1}{4}$ Kreisumfang in die beiden einander gegenüberstehenden Stahlgußbacken der „Mutterbackensäulen“ eingeschnitten sind. Diese Säulen sind neben den Zahnstockleitern an das Führungsgerüst angebaut. Der lotrechte Schlitz zwischen ihren Backen ist rd. 0,7 m weit, in ihn greift der Trog über und unter dem Riegel mit zwei kräftigen Armen hinein. Die vier Maschinen, die die vier Ritzel und die zugehörigen Drehriegel treiben, stehen auf dem oberen Querverbände des Troges, ihre Motoren leisten je 75 PS und werden von einem Leonardumformer versorgt, der in den einen der beiden Trogmaschinenräume mit eingebaut ist. Der Antrieb ist vor der Erbauung des Hebewerks sehr sorgfältig an einem Teilmodell (mit $\frac{1}{5}$ der wirklichen Größe) ausprobiert und hat, soweit bekannt, störungsfrei gearbeitet; er stellt aber doch einen recht verwickelten Mechanismus dar. Seine Wirkung im Katastrophenfall ist von Burkowitz eingehend in der „Bautechnik“ 1934 S. 411 behandelt, dabei ist außer Betracht gelassen, daß ein Drehriegel während der Trogfahrt durch einen Schaden an seinem Antrieb oder den Kardangelenken seiner Pendelstäbe zum Stillstand kommen könnte.

Wie Dehnert berichtet*), sind die Drehriegel bisher nur einmal zur Wirkung gekommen, als sich eine der zum Ausgleich des Seilgewichts dienenden Ketten in ihrer unteren (schadhaft gewordenen) Führung verfang; das Hebewerk ist dabei, wie gewollt, ohne Unfall stillgesetzt; die unteren Kettenführungen sind als entbehrlich ausgebaut worden.

Die frei stehenden Anlagen eines Hebewerks sind dem Frost mehr als Schleusen ausgesetzt. Eisbildungen an den Auffangvorrichtungen für das Spaltwasser machten Änderungen an diesen Teilen erforderlich, ferner mußten nachträglich elektrische Beheizungen an Trogtüren und anderen Einrichtungen eingebaut werden. Es erwies sich, daß es günstig gewesen wäre, die Rohrbühnen unter den Haltungsanschlüssen in beheizbare Räume zu legen. Des weiteren wäre der Betriebsleitung erwünscht gewesen, wenn man, ohne zuviel Rücksicht auf das Aussehen zu nehmen, die Räume der Trog- und der Haltungsorantriebe größer bemessen und wenn man an Besichtigungsstegen nicht gespart hätte.

Für das Gesamturteil über das Hebewerk sind die vorgenannten kleinen Mängel ohne Belang. Dank der überaus sorgfältigen Planung und Ausführung hat das Bauwerk allen Erwartungen entsprochen.

III. Rothensee

Das Hebewerk in Rothensee verbindet den Mittellandkanal mit dem südwärts gerichteten Abzweige nach der Elbe bei Magdeburg. Das Gefälle beträgt hier bei NW der Elbe 18,7 m, bei höheren Elbwasserständen kann es auf rd. 11 m abnehmen. Die Hubgeschwindigkeit ist 0,15 m/s. Der Trog ist 85 m lang, 12 m breit und 2,5 m tief, er wiegt mit Wasser rd. 4000 t und steht auf 2 geschweißten Schwimmern von 36 m Höhe und 10 m Durchmesser. Der bewegliche Teil

*) H. Dehnert: Schleusen und Hebewerke, 1954 im Springer-Verlag, Berlin, erschienen.

des Hebewerks hat 5400 t Gesamtgewicht. Die beiden Schwimmerschächte haben 11 m Weite, sie reichen rd. 65 m unter die Trogkammersohle hinab. Wie in Henrichenburg ist der Trog in 2 Querebenen geführt, doch sind hier die Führungsgerüste nicht über dem Troge zu Rahmen verbunden. Die 4 Spindeln stehen fest, sie sind 27,3 m lang, wiegen jede 23 t und haben viergängige Gewinde mit 420 mm Außendurchmesser. Die Antriebsmutter sind in „Mutterwagen“ eingebaut, die in den Führungsgerüsten laufen, ihre Triebwerke (je zwei mit 60 PS-Motoren in Leonardschaltung und mit elektrohydraulischen Bremslüftern) stehen in den Seitengängen des Troges unter seinen Laufstegen. Die Schraubenspindeln sind im Zusammenwirken mit den Triebwerken selbst-sperrend. Durch Einbauen eines Schwungrades in den Leonardumformer ist dafür gesorgt, daß der Trog selbst bei vollem Ausfallen der Stromversorgung sanft zum Stehen kommt.

1. Leistungen

Das Hebewerk Rothensee ist 1938 in Betrieb genommen worden. Da die große Kanalbrücke für den Mittellandkanal über die Elbe und das Doppelhebewerk in Hohenwarthe nicht mehr fertiggestellt werden konnten, ist der über Rothensee nach der Elbe führende Zweigkanal die einzige Verbindung des westdeutschen Kanalnetzes mit den mittel- und ostdeutschen Wasserstraßen. Im Frühjahr hält sich die Eisdecke besonders in der langen, oberhalb Rothensee liegenden Dammstrecke länger als im Westen des Mittellandkanals und auf der Elbe, es kam deswegen nach jedem Winter zu erheblichen Fahrzeugansammlungen, die nur in äußerst angestrengtem Betriebe bewältigt werden konnten und so eine schärfste „Belastungsprobe“ für das Hebewerk und sein Personal darstellten. Bei etwa 16stündiger Betriebszeit wurden monatlich bis zu rd. 2200 Schiffe, vorwiegend Schleppkähne, mit rd. 1 250 000 t Tragfähigkeit durch das Hebewerk befördert. Diese Spitzenleistungen konnten nur dadurch erreicht werden, daß in beiden Vorhäfen Bugsierdampfer eingesetzt wurden, die die zu schleusenden Kähne rechtzeitig nach den unmittelbar vor den Haltungstoren liegenden Wartepätzen an den Leitwerken brachten und die die geschleusten Kähne sofort nach dem Öffnen der Tore abschleppten.

2. Erfahrungen an den maschinellen Anlagen

a) Die Spindeln und Spindelmuttern sollten ursprünglich mit Öl geschmiert werden. Der Öl-mangel im Kriege zwang dazu, zu Starrfetten überzugehen; es erwies sich dann als nötig, die Zahl der (automatisch arbeitenden) Schmierpressen zu vergrößern. Das Hebewerk liegt am Rande einer nahezu baum- und strauchlosen „Kultursteppe“, der „Magdeburger Börde“. Bei stürmischen Winden werden dort große Staubwolken aufgewirbelt, es bleibt dann viel Feinsand an den Spindeln haften. An die Gehäuse der Antriebsmutter sind nachträglich Vorrichtungen angebaut worden, die mit schwenkbaren (nur bei Bedarf angelegten) kammähnlichen Klauen das verschmutzte Fett abstreifen sollen; es ist aber nicht gelungen, die Abnutzung der Muttergewinde ausreichend abzumindern. Eine der Mutter war 1949 nicht mehr betriebssicher, für 1950 war deshalb vorgesehen, die Mutter zu erneuern. 1943 mußte ein Mutter-Halslager ausgewechselt werden, es war wahrscheinlich durch Fremdkörper beschädigt, die in dem eingepreßten Fett enthalten waren.

Wenn künftige Hebewerke in ähnlicher Umgebung erbaut werden, empfiehlt sich, die Antriebsgerüste in Schutzwände zu setzen, wobei dann nur der Schlitz offenbleiben darf, in den das den Trog tragende Joch hineingreift. Dasselbe gilt

übrigens auch für Antriebe mit Zahnstangen, obwohl diese und ihre Ritzel weniger empfindlich sein dürften. Um die Abnutzung der Muttergewinde leicht überwachen zu können, empfiehlt sich, in die Muttergehäuse ein Fenster einzubauen, durch das ein eingepaßter Ausschnitt des Gewindes zur Besichtigung herausgezogen werden kann.

b) Das verstellbare „Schildschütz“, das die Trogkammer gegen das Unterwasser abschließt, legt sich nur mit schmalen Dichtungsleisten an die Trogkammerwand und -sohle an. Die waagerechten Leisten haben je etwa 1 m Abstand voneinander, und das Schildschütz muß jedesmal um dieses Maß gehoben oder gesenkt werden, sobald das Unterwasser einen Stand erreicht, bei dem der Trog mit seinem Dichtungsrahmen nicht mehr an das Schildschütz paßt. Die Anlegefläche am Schildschütz für den Trograhmen ist nicht viel über 1 m hoch. Wenn der Unterwasserstand auch nur wenig um einen der Grenzwerte pendelt, der zu einer der Schildschützstellungen gehört, ist ein wiederholtes Umsetzen des Schildschützes erforderlich. Hierbei muß der Schiffahrtsbetrieb jedesmal stundenlang unterbrochen werden. Es wäre vorteilhaft gewesen, das Schildschütz oder seinen Anschlag an der Trogkammerwand so zu konstruieren, daß es in jeder Höhenlage gegen die untere Haltung dicht gewesen wäre.

Vor dem Umsetzen des Schildschützes muß seine Grube durch das Hilfstor (Stemmtor) gegen die untere Haltung abgeschlossen und dann leergepumpt werden. Die hierfür eingebauten Pumpen hätten für eine höhere Leistung bemessen werden sollen, um den Zeitverlust einzuschränken.

An der oberen Kanalhaltung kann der Hebewerkstrog in Rothensee nur dann dicht anlegen, wenn der Wasserstand der Haltung höchstens um etwa 0,4 m von seinem Sollwert abweicht. Bei Unterhaltungsarbeiten auf der Kanalstrecke kann es nötig werden, den Wasserstand tiefer zu senken und den Schiffahrtsbetrieb u. U. nur einspurig aufrechtzuerhalten; andererseits kann der Oberwasserstand durch Windstau um reichlich 0,5 m anwachsen. Der Höhenspielraum des Hebewerkstroges hätte also größer bemessen werden sollen.

c) Der Aufzug, der in einen Rahmen-Pfosten des oberen Haltungsabschlusses eingebaut ist und den Zugang von der Geländehöhe nach der oberen Plattform erleichtern soll, kann nur Personen und leichte Lasten befördern. Für schwerere Teile wird im Geräteschuppen ein Derrickkran bereitgehalten. Es wäre aber doch ein vollkommeneres Schwerlasthebezeug willkommen, das an passender Stelle dauernd eingebaut ist. Des weiteren war es erforderlich, den oberen Haltungsabschluß auf beiden Ufern nachträglich durch gut befahrbare an den Kanaldamm angeschüttete Wegerampen zugänglich zu machen.

d) Im Winter werden die Dichtungsrahmen des Troges und ihre Anlegeflächen durch eine mit Propangas betriebene Warmwasserheizung beheizt. Für die Spaltwasser-Leitungen sind auch elektrische Heizkörper eingebaut. Die Heizeinrichtungen haben sich bewährt. Wenn Frost von mehr als -5°C mehrere Tage lang andauert, kommt der Schiffsverkehr durch Zufrieren des Kanals zum Erliegen. Die Eisdecke im Trog des Hebewerks muß an den Rändern ständig offengehalten werden, sie wird im Frühjahr, sobald der Kanal durch Eisbrecher befahrbar gemacht ist, nach dem Vorhafen herausgezogen, selbstverständlich bringen aber die Schiffe von neuem Eis in den Trog hinein, dabei werden große Schollen auf die waagerechten Träger der Hubtore geschoben und gefährden dann nach dem Öffnen der Tore die durchfahrenden Kähne, außerdem werden die Torantriebe durch das Schollengewicht überlastet. Es ist daher ratsam, die Trägerzwischenräume wenigstens in Wasserspiegelhöhe durch eine

zweite Wand abzuschließen. Zum Schutz gegen Rost waren die Tore mit einem warm aufgetragenen dicken Bitumenanstrich versehen. Ein solcher Anstrich wird im Winter zu spröde, er ist durch die Eisschollen vielfach zerstört worden.

Die Schwimmerschächte bleiben wegen ihrer großen Tiefe auch bei strengstem Dauerfrost eisfrei.

C. Anregungen zu künftigen Entwürfen

1. Die Leistung von Hebewerken hängt (wie die von Schleusen) wesentlich von der Ausstattung der Vorhäfen ab. Die Liegeplätze, an denen Schleppkähne zur Schleusung bereitgelegt werden und an denen geschleuste Kähne wieder zu Schleppzügen vereinigt werden, sollten senkrechte Ufer (Mauern oder Spundwände) erhalten.

In Anbetracht der hohen Baukosten eines Hebewerks ist keine Sparsamkeit bei den Treidelanlagen am Platze, wenn ein wesentlicher Anteil des Verkehrs auf Schleppzüge entfällt oder wenn Kähne als Anhang von Selbstfahrern mitgenommen werden. Die volle Ausnutzung der Hebewerksleistungen ist dann nur mit Schleppwagen zu erreichen. Ein solcher Wagen ist auf jedem Ufer anzuordnen (bei Doppelhebewerken sind also 4 Wagen erforderlich). Jeder Wagen muß seinen Kahn während der ganzen Schleusung im Schlepp behalten und ihn am Ende seiner Wege auch abstoppen können. Die Wagen müssen also die ganze Liegeplatzlänge in beiden Vorhäfen bestreichen, über neigbare Gleisrampen auf den Hebewerkstrog übergehen und an den Trogfahrten teilnehmen.

Um Platz für die Schleppwagen zu bieten, müssen die Laufstege am Trog mindestens 3,5 m breit bemessen werden, dies bedingt allerdings gegenüber den bestehenden Hebewerken fühlbare Mehrkosten für die Verbreiterung der Trogkammern.

Die Spille in Rothensee, mit denen die Kähne in den Trog gezogen werden, erwiesen sich bei lebhaftem Verkehr als zu schwerfällig. Bei schlechtem Wetter und besonders bei Glatteis ist die Arbeit an Spillen mit dem Ausziehen der Spillseile anstrengend und unsicher. Für das Herausschleppen aus dem Troge sind in Rothensee Treidelwinden vorhanden, sie stehen in den Maschinenräumen unter den Troglaufstegen. Auch sie ersparen dem Bedienungsmann nicht die Arbeit, das Seil nach jeder Fahrt wieder an der Trogplattform entlang auszuziehen. Die Absicht, die Spille durch Seiltreidelanlagen wie am Hebewerk Niederfinow zu ersetzen, konnte im Kriege nicht verwirklicht werden; auch solche Anlagen hätten kaum voll befriedigt, weil bei ihnen das am Schiff angreifende Seil schräg nach oben zieht, also bei mangelnder Vorsicht vom Schiffspolster abgleiten kann; besonders nachteilig ist auch bei ihnen, daß der Seilführer auf seinem Bedienungsstande zu weit vom geschleppten Kahn entfernt ist und sich bei schlechtem Wetter und in der Dunkelheit nur mangelhaft mit der Schiffsbesatzung verständigen kann.

2. Das Bedienungspersonal auf Hebewerken muß gegen Unwetter geschützt werden. Da Wind und Schlagregen auf der Plattform eines hochgehahrenen Hebewerks besonders in kalten Jahreszeiten nicht stundenlang ertragen werden können, ist es ratsam, die Seitenwände der Trogstege höher zu führen, zu verglasen und oben als Schutzdach etwas vorzukragen; sie würden dann auch das Ein- und Ausfahren leerer Kähne bei Seitenwind erleichtern. Auf den schmalen Laufstegen des Troges in Rothensee konnten während des Krieges nur behelfsmäßige Schutzhütten an den Steuerständen eingebaut werden, um die Schalttafeln wenigstens gegen Schlagregen und gegen das Öl-Wasser-

Gemisch zu schützen, das bei windigem Wetter von den Toren abtropft. Wünschenswert wäre gewesen, die Laufstege an den Steuerständen nach der Luftseite zu verbreitern und verglaste Steuerhäuser anzuordnen.

3. Räume für Antriebsmaschinen sollte man auch auf dem Trog des Hebewerks nicht allzusehr in den Abmessungen einschränken, damit die Wartung während des Betriebes nicht erschwert wird. Gegen Nässe hochempfindliche elektrische Anlagen sollten möglichst nicht wie in Rothensee in die Räume unter den Troglaufstegen eingebaut werden. Im Sommer leiden diese Räume unter Schwitzwasser. Zudem wird man den Trog während der Betriebsruhe und während mancher Überholungsarbeiten in seine untere Endlage fahren, es könnte also befürchtet werden, daß die Seitenräume überflutet werden, wenn die Trogkammer wegen eines Schadens an den Haltungstoren oder den Lenzpumpen voll Wasser läuft.

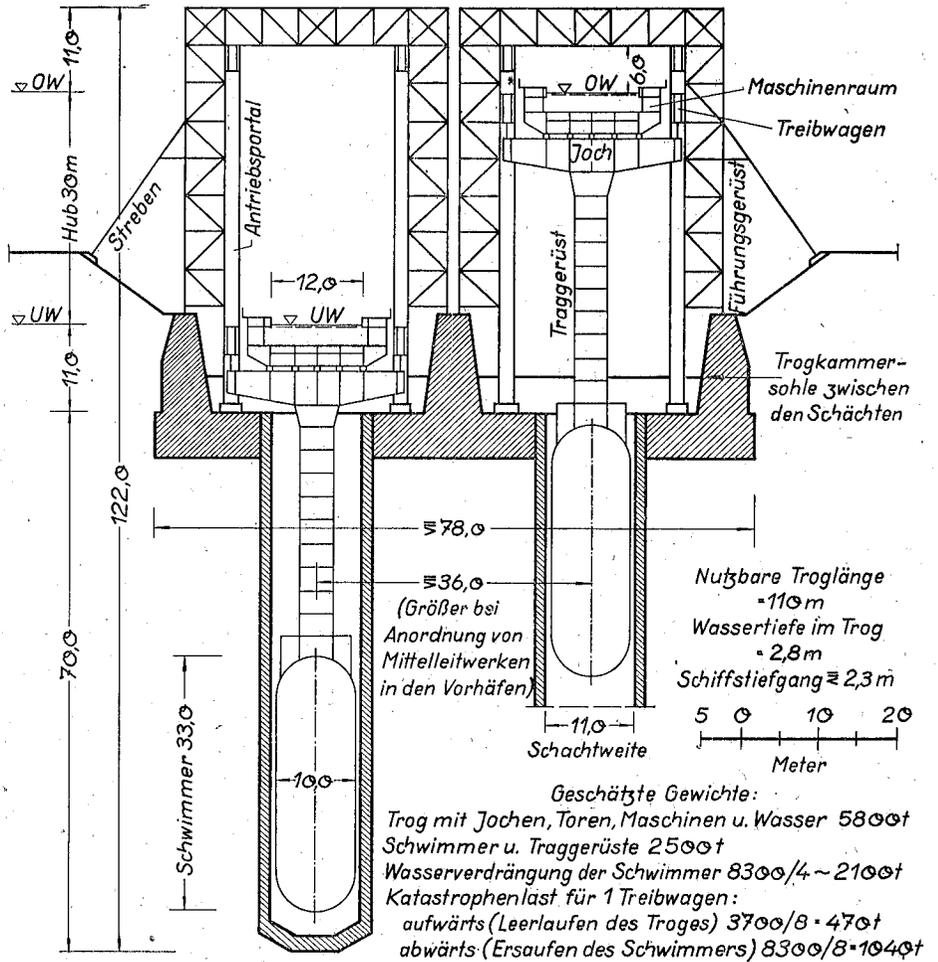
4. Die bisher ausgeführten Trogabmessungen genügen nicht den Anforderungen in der internationalen Wasserstraßenklasse IV für europäische Binnenwasserstraßen. Die Wassertiefe muß auf 3,0 m erhöht werden, wo die Wasserstraße die volle Regelabladung der Kähne von 2,5 m gestattet. Die bei den neueren deutschen Hebewerken angewendeten Abmessungen von 85 m Länge und 12 m Breite können aber bestehen bleiben.

Nach Überlegungen, die für die Großschiffahrtsstraße Rhein-Main-Donau angestellt worden sind, würde es an Hebewerken in der durchgehenden Strecke dieser Wasserstraße, die vorwiegend dem Durchgangsverkehr mit einem wesentlichen Anteil von Schleppzügen dient, im allgemeinen unwirtschaftlich sein, die Schlepper zu wechseln und in jeder Kanalhaltung die für Stoßverkehr nötigen Reserveschlepper bereitzuhalten. Daher sind die Untersuchungen vorerst für Troglängen von 110 m angestellt worden. Dieses Maß ist aber nicht als endgültig anzusehen.

Mit der Troglänge wachsen die Kippmomente, die von den beim Ein- und Ausfahren vor und hinter den Schiffen entstehenden Spiegelhebungen und -Senkungen hervorgerufen werden. Um die waagerechte Lage des Troges zu sichern, müssen deswegen Führungen nahe an die Trogenden gestellt werden. Bei lebhaftem Verkehr entstehen während des Einfahrens der Schiffe, besonders wenn die Kanalhaltungen durch Schleusungswellen beunruhigt werden oder aus anderen Gründen schnellen Wasserstandswechseln ausgesetzt sind, Abweichungen von der Soll-Füllhöhe des Troges, die leicht auf 10 cm und mehr wachsen können. Es empfiehlt sich deswegen, die Trogantriebe für größere Über- und Unterlasten als bisher zu bemessen. Wenn der Trog genau ausgewuchtet wird, führen die im Trog hin- und herpendelnden Längswellen dazu, daß sich die Zähne oder Muttern der Antriebe abwechselnd nach oben oder unten aufsetzen. Wegen des Spiels, das die Antriebe von vornherein haben und das sich durch Abnutzung im Laufe der Zeit vergrößert, entstehen hierbei unerwünschte Stöße. Es ist auch aus diesem Grunde ratsam, die Antriebe stärker zu bemessen und den Trog bewußt mit einer Über- oder Unterlast zu fahren, die die Höhe der pendelnden Wasserwellen übertrifft.

Wo die Leistung 110 · 12 m großer Hebewerke nicht ausreicht, wird es zweckmäßiger sein, die Tröge für zwei nebeneinander liegende Kähne zu bemessen, als die Troglängen zu vergrößern. Auf jeden Fall werden 110 m lange Tröge mit 3,0 m Wassertiefe so schwer, daß man sie nicht mehr wie bisher in den „Katastrophenfällen“ auf nur 4 Punkte absetzen kann. Die Troglängsträger werden dann auf mehr als 2 Querjoche gelegt werden müssen, sie werden also

Doppelhebwerk mit 2x4 Mittelschwimmern



Grundriß (ohne Tröge)

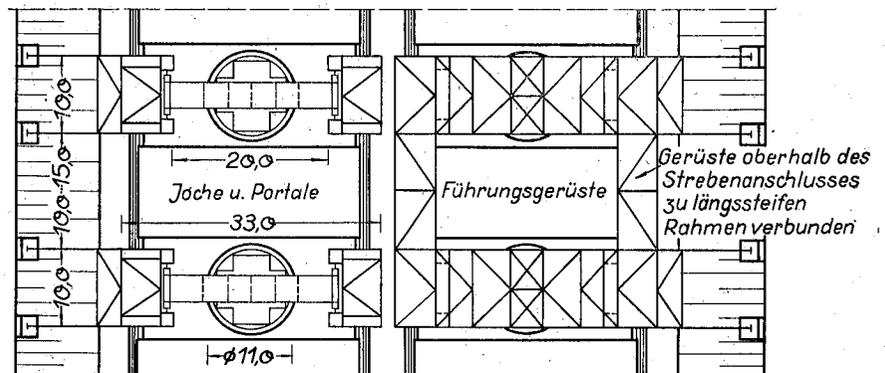


Bild 1 Doppelhebwerk mit 2 x 4 Mittelschwimmern

Doppelhebewerk mit 2×8 Schwimmertürmen

Geschätzte Gewichte:
 Trog mit Jochen, Toren, Maschinen u. Wasser 5800t
 Schwimmer, Traggerüste u. Hängesäulen 3200t
 Wasserverdrängung der Schwimmer 9000/8 ~ 1120t
 Katastrophenlast für 1 Treibwagen:
 aufwärts (Leerlaufen des Troges) 3700/8 = 470t
 abwärts (" " " Turmes) 5800/8 + 3200/8 = 30/21,5 = 1290t

Nutzbare Troglänge = 110 m
 Wassertiefe im Trog = 2,8 m
 Schiffstiefgang ≈ 2,3 m

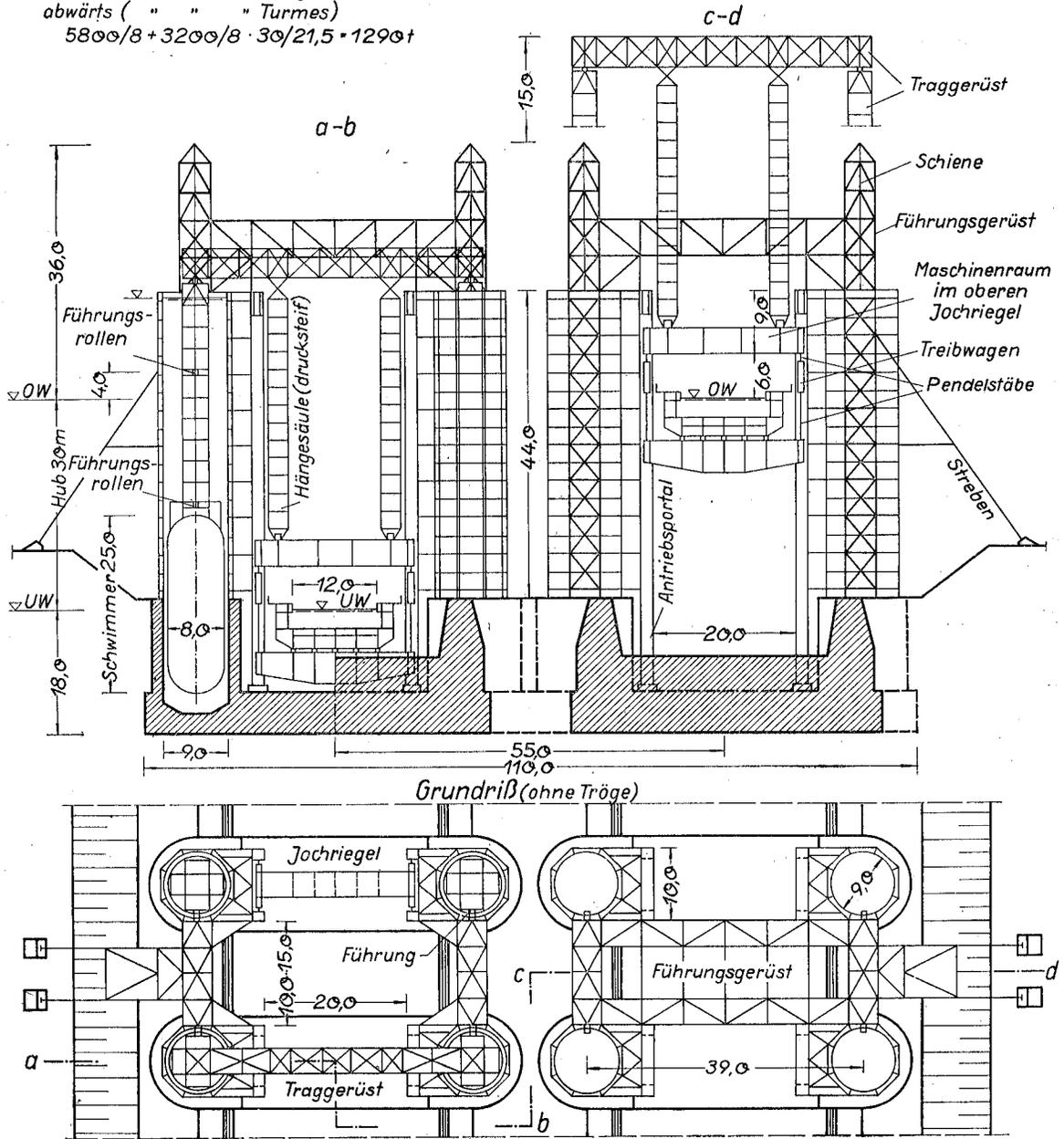


Fig. 2

Bild 2 Doppelhebewerk mit 2 × 8 Schwimmertürmen

durchlaufende Träger auf mehreren Stützen. Jedes der Joche ist wie in Rothensee an portalähnlichen Antriebsgerüsten zu führen, die an beiden Seiten dicht neben dem Troge stehen. In diese Portale werden auch die Spindeln oder Zahnstangen eingebaut, an denen die mit den Jochenden gelenkig verbundenen (den Rothenseer „Mutterwagen“ entsprechenden) Treibwagen klettern. Je enger die Joche gesetzt werden, desto kleiner werden die Biegemomente in den Trog-Hauptträgern, es wird dabei aber an diesen Trägern weniger erspart, als die zusätzlichen Trogführungen und -Antriebe kosten. Maßgebend für die Anzahl der Trogjoche ist deswegen die Last, die in den Katastrophenfällen von den Treibwagen gehalten werden kann.

Wegen der unvermeidlichen Höhenunterschiede ihrer Stützpunkte, die durch Montageungenauigkeiten, durch ungleiche Abnutzung der Antriebe, ungleiche Setzungen und ungleiche Erwärmungen eintreten werden, müssen Trogräger auf mehr als 2 Jochen so elastisch werden, daß sie diese Unterschiede ausgleichen, ohne daß irgendwo unzulässige Überbeanspruchungen vorkommen. Es wird also nötig sein, die Längsträger als niedrige Blechträger unter den Trogboden zu setzen. Dabei kann es vorteilhaft sein, einzelne Längsfelder als Kastenträger auszubilden, diese Felder müssen dann aber durch unten offene, also nicht verdrehungssteife Längsfehler voneinander getrennt bleiben, damit sich der Trog auch Höhenunterschieden der einander gegenüberliegenden Führungen anpassen kann. Die Trogseitenwände werden nachgiebig mit stehenden Tonnenblechen zu bauen sein, so daß sie von der Durchbiegung des Troges unbeeinflusst bleiben.

Wo mit Bergsenkungen oder sonstigen ungewöhnlichen Setzungen zu rechnen ist, wird man die Anzahl der Tragjoche auf 2 beschränken müssen.

5. Wenn die örtlichen Verhältnisse es erlauben, Schwimmer- oder Gegengewichtshebewerke zu bauen, wird dem Schwimmerhebewerk der Vorzug zu geben sein. Die vielen Seile und die Lager für die Seilscheiben sind wenig erwünschte Bauteile, sie erschweren und verteuern die Unterhaltung. Dieser Nachteil wird nicht dadurch aufgewogen, daß es bei Gegengewichtshebewerken leichter als bei Schwimmerhebewerken ist, die Trogfahrt zu sichern. Zwar sind die aufwärts gerichteten „Katastrophenlasten“, die bei einem Leerlaufen des Troges oder einem Vollaufen der Trogkammer aufzunehmen sind, bei beiden Bauweisen gleich groß, in bezug auf die abwärts gerichteten Lasten steht aber das Gegengewichtshebewerk weit günstiger da. Es ist ausgeschlossen, daß die sämtlichen zu einer Führung gehörenden Gegengewichte gleichzeitig abreißen. In Niederfinow ist deswegen als größte abwärts gerichtete Katastrophenlast nur das Übergewicht gerechnet, das der Trog erhält, wenn er bordvoll läuft. (Eine etwas größere Zusatzlast entsteht, wenn ein schwerer, z. B. mit Eisen beladener Kahn bei offenen Trog- und Haltungsstoren im Troge in ungünstiger Lage sinkt.) Daß bei einem Mittelschwimmer-Hebewerk alle Kammern eines Schwimmers vollaufen, ist zwar wenig wahrscheinlich, man hat aber bisher mit diesem Katastrophenfall gerechnet. Bei einem Hebewerk mit Schwimbertürmen wäre ein gänzlich leerlaufen eines Turmes schon eher denkbar. In diesen Fällen hängt sich an den Führungen nicht nur das volle Gewicht des wassergefüllten Troges, sondern auch das Eigengewicht des Schwimmers auf. So waren die Katastrophenlasten für jede Führung

	aufwärts	abwärts
in Niederfinow	} 2700 : 4 = 670 t	810 : 4 = 200 t
in Rothensee		5400 : 4 = 1350 t

äußeren Überdruck erhalten. Sollte einmal der innere Luftdruck in einer Zelle durch einen Schaden an den Luftleitungen oder an den Luftpumpen unter seinen Regelwert absinken, so wird in Kauf genommen werden dürfen, daß die Zelle mit Wasser gefüllt wird. (Dies kann automatisch durch eine Klappe geschehen, die beispielsweise 15 m hoch über der Zellendecke steht, durch eine Falleitung mit dieser Zelle verbunden ist, sich bei sinkendem Luftdruck nach innen öffnet und Wasser aus dem Schwimmerschacht eintreten läßt. Der Innenraum der Schwimmer bietet mit seiner gleichbleibenden Temperatur und dem Fehlen zerstörenden Sonnenlichts so günstige Bedingungen für Schutzanstriche, daß bedenkliche Rostschäden nicht zu befürchten sind.)

Es wird hiernach möglich sein, Schwimmer mit demselben Durchmesser und derselben Tragkraft wie in Rothensee zu bauen, die bei 50 m Hubhöhe dem um 5 at wechselnden Außendruck gewachsen sind. (Der Innendruck könnte für die unterste Zelle auf 7 at bemessen werden. In tiefster Lage wäre der dann 90 m unter Wasser liegende Schwimmerboden etwa 2 at äußerem Überdruck ausgesetzt. In seiner höchsten Stellung hätte der oberste Wandstreifen der untersten Zelle etwa 4 at inneren Überdruck auszuhalten.) Bei einem Entleeren der Schwimmerschächte kann der Luftdruck herabgesetzt werden. Alle Beanspruchungen der Schwimmerwandungen können auf diese Weise in erträglichen Grenzen gehalten werden.

7. Wenn die Schwimmer wie in Henrichenburg und Rothensee mitten unter den Trog gesetzt werden, erfordern sie tiefe Schächte. Schon in Vorentwürfen für Niederfinow ist vorgeschlagen worden, die Schwimmer in zwei Reihen seitlich vom Trog in wassergefüllte Türme zu setzen. Nuerdings sind ähnliche Vorschläge von Dr.-Ing. Faure bearbeitet worden (Bau-technik 1953 S. 73). Wenn an Stelle eines jeden Mittelschwimmers ein Paar in der gleichen Trog-Querschnittsebene seitlich stehender Schwimmer angeordnet wird, können die Schwimmer so weit verkürzt werden, daß keine Schächte mehr nötig sind, die unter die Gründungssohle der Trogkammer hinabreichen. Ob diese Bauweise billiger wird, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden. Hierbei spielen die Untergrundverhältnisse und auch die Geländehöhen an der Baustelle eine wesentliche Rolle. Ein Hebewerk mit Mittelschwimmern ist schmaler als jede andere Bauart. Wo zwei oder mehr solche Hebewerke nebeneinander zu bauen sind, erhalten sie also kleinere Achsabstände, und hiermit verringern sich die Aufwendungen für ihre Vorhäfen.

Der Vorschlag von Dr.-Ing. Faure, Hebewerke mit Schwimmertürmen „hydraulisch“ zu betreiben, d. h. den Trog dadurch zu bewegen, daß die Türme bis zum OW gefüllt oder bis zum UW entleert werden, kommt für hohe Gefälle nicht in Frage, weil der Wasserverbrauch hierbei weit größer als an Schleusen mit Sparbecken würde. Die Schwimmer solcher Hebewerke werden in der UW-Stellung unter die Höhe der Trogkammersohle abgesenkt werden müssen, es sind also unter den Schwimmertürmen Schächte erforderlich. Wo später ein zweites Hebewerk neben einem im Betriebe stehenden zu bauen ist, können diese Schächte nur in größerem Abstände von den bestehenden abgeteuft werden. Es ergeben sich also sehr breite Vorhäfen.

Die zur Führung der Schwimmer nötigen Rollen und ihre Lager bedürfen einer Pflege und müssen deswegen (wie in Rothensee) bei hochstehendem Hebewerk im Trockenem zugänglich sein, ferner muß jeder der beweglichen Körper, den der Schwimmer und das auf ihm stehende Traggerüst bilden, wenigstens etwa in seinen Drittelpunkten geführt werden. Bei hochgefahrenem Troge kommen die oberen Führungen hoch über OW zu liegen. Infolgedessen werden neben

den Schwimmertürmen hohe Führungsgerüste erforderlich, sie bedingen einen erheblichen Aufwand, da sie auch den Winddruck auf die Schwimmertürme aufzunehmen haben. Auch die Antriebsportale neben dem Troge werden höher, weil die Joche nunmehr als (gelenkige) Rahmen ausgebildet werden müssen, auf deren unterem Riegel die Troglängsträger liegen und an deren oberem Riegel die Hängesäulen angreifen, die das Troggewicht auf die Schwimmer übertragen. Beide Riegel sind in den Antriebsportalen zu führen und durch allseitig bewegliche Pendelstäbe mit den Treibwagen zu verbinden. Diese Wagen sind dicht unterhalb des oberen Riegels anzuordnen, damit die Maschinenräume mit den Antriebsmotoren in die oberen Riegel eingebaut werden können. Die Hängesäulen, die die oberen Jochriegel mit den Traggerüsten auf den Schwimmern verbinden, müssen drucksteif sein, weil sie beim Leerlaufen eines Schwimmerturmes oder beim Ersaufen eines Schwimmers das Gewicht dieses Schwimmers und seines Traggerüstes auf den Trogantrieb zu übertragen haben.

In Bild 1 und 2 sind Querschnitte und Teil-Grundrisse für ein Doppelhebwerk mit 12 m breiten Trögen und 30 m Hubhöhe skizziert, die die beiden Bauarten von Schwimmerhebwerken mit Mittelschwimmern und mit hohen Schwimmertürmen vergleichen. (Über die Antriebe s. u. Bei 21 m breiten, also zweischiffigen Trögen von 110 m Nutzlänge würde ein Hebwerk mit Schwimmertürmen 12 statt 8 Türme erhalten. Der am Trog entlang verfügbare Platz reicht auch für diese Anordnungen aus.) Wie die Skizzen zeigen, wird es schwer sein, hohen Hebewerken mit Schwimmertürmen ein befriedigendes Aussehen zu geben. Zu berücksichtigen ist auch, daß die auf einen Antrieb entfallenden Katastrophenlasten beim Hebwerk mit Seitenschwimmern mehr als doppelt so hoch wie beim Hebwerk mit Mittelschwimmern würden, wenn man die Schwimmer bei beiden Bauweisen gleich groß machen wollte. Ferner darf nicht außer Acht gelassen werden, daß Schwimmertürme bei Frostwetter beheizt oder entleert werden müssen. (Sie mit einer nichtgefrierenden Flüssigkeit zu füllen, dürfte kaum in Frage kommen.)

Zu Bild 1 sei bemerkt: Wo Schleppzüge verkehren, wo also in den Vorhäfen lange Mittelleitwerke gebaut werden müssen, ist der Achsabstand der Hebewerke von 36,0 m um die Breite der Mittelleitwerke zu vergrößern. Die mit 2,8 m angegebene Wassertiefe entspricht den Fahrwasserverhältnissen des Main-Donau-Kanals; auf ihm ist die Tauchtiefe der Schiffe auf 2,3 m beschränkt.

8. Für Hebewerke mit Gegengewichten ist Niederfinow das Vorbild. Ein neuer Entwurf ist für ein 47 m hohes Hebwerk des Oder-Donau-Kanals aufgestellt worden und zuerst von Plarre in der Bautechnik 1944 veröffentlicht worden; auf diesen Entwurf ist u. a. auch in dem Buche von Dehnert „Schleusen und Hebewerke“ auf S. 302 hingewiesen. Für die Konstruktion von Gegengewichts-Hebewerken ist der Platzbedarf der Seilscheiben und Gewichte maßgebend. In Niederfinow nehmen die Gewichte die ganzen Längsseiten des Troges ein. Im Oder-Donau-Entwurf waren die Gewichte in vier Türmen vereinigt, die Seile waren dabei nicht mehr an den Längsträgern des Troges befestigt, sondern griffen an den Querträgern an, auf denen diese Längsträger auflagen. Die Längsträger blieben also bei einem Leerlaufen des Troges von den Biegemomenten verschont, die bei leerem Troge in Niederfinow von den Seilzugkräften hervorgerufen werden. In den Türmen hingen die Gegengewichte in zwei parallel zur Trogachse hintereinander stehenden Reihen; dies bedingte Seilscheibendurchmesser von rd. 7 m und gestattete damit größere Seilstärken, es hatten aber (da die Lager mit 76 t belastet waren) offenbar auch in diesem Entwurfe die Seilscheiben je zwei Rillen.

Hebewerkströge mit größerer Wassertiefe und größerer Breite werden so schwer, daß es keinesfalls mehr möglich ist, die Gegengewichte in einfachen Längsreihen neben den Trögen unterzubringen. In Bild 3 ist ein Doppelhebewerk (mit 12 m breiten Trögen und 30 m Hub) skizziert, bei dem die Gegengewichte in Reihen gehängt sind, die *q u e r* zur Hebewerksachse stehen; ihre Seile greifen an den auskragenden Enden der den Trog tragenden Joche an. (Bei 21-m breiten Trögen wären 5 statt 3 Tragjoche, also 10 statt 6 Antriebsportale nötig.) Die Gegengewichte sind in Bild 4 skizziert. Ihre Teilkörper sind so gestaltet, daß ihre Schwerpunkte und Seilanschlüsse gegeneinander versetzt sind. Es ist so möglich, auf der Seilscheibenbühne je zwei Scheibenlager hintereinander zu setzen und einrillige Seilscheiben zu verwenden, ohne Raum zu verschwenden.

9. Antrieb

a) Bei Hebewerken, die (wie in Henrichenburg und Rothensee) an Spindeln geführt werden, erfüllen die Spindelmutter zugleich die drei Aufgaben, den Trog zu bewegen und ihn dabei sowohl während der Fahrt wie in Katastrophenfällen in waagerechter Lage zu halten. Antriebe mit Ritzeln und Zahnstockleitern können dagegen nicht für die Katastrophenlasten bemessen werden und brauchen deswegen zusätzliche Einrichtungen zum Abbremsen und Abfangen der Überlasten. Als solche können Drehriegel (wie in Niederfinow) oder zusätzliche Ritzel verwendet werden, die — leerlaufend vom Trog mitgenommen — über Vorgelege mit Bremsen verbunden sind, wobei für diese Bremsritzeln auch besondere Zahnleitern angeordnet werden können; alle solche Zusatzeinrichtungen werden sich aber nur für Gegengewichtshebwerke mit ihren verhältnismäßig kleinen Katastrophenlasten befriedigend gestalten lassen. Das Verteilen der Last auf mehrere Bremsen birgt Unsicherheiten und bedingt Vorsicht bei der Wahl der zulässigen Spannungen, zudem ist es schwierig, die Treibwagen so genau zu führen, daß die Ritzel genau waagerecht liegen und daß ihre Zähne auf ganze Breite gleichmäßig belastet werden. Vor allem können Ritzelwagen nicht so schmal wie Mutterwagen gebaut werden. Die Antriebs- und Führungsgerüste erfordern also mehr Platz neben dem Troge, und die Trogkammer wird um mehrere Meter breiter als bei Hebewerken mit Spindeltrieb.

Ritzel wie in Niederfinow federnd zu lagern, verbietet sich bei Hebewerken, deren Längsträger über mehrere Stützen durchlaufen. Durchbiegungen von ± 3 cm, wie sie in Niederfinow vor dem Aufsetzen des Troges auf die Drehriegel eintreten, würden schon unerwünschte Zusatzspannungen hervorrufen, wenn die den Trog tragenden Joche nur kleine Abstände voneinander erhalten können, wenn also die Troglängsträger nur kleine Feldweiten haben. Die „Federtöpfe“ an den Ritzelarmen erhöhen überdies die Elastizität des ganzen Systems und vergrößern damit die Gefahr, daß der Trog im Katastrophenfall ruckweise weiterrutscht, solange die Überlast nicht sehr groß ist.

b) Um die waagerechte Lage des Troges während der Fahrt sicherzustellen, ist auch bei größeren Hebewerken ein „Wellenviereck“ anzuordnen. Die Hauptwelle dieses Vierecks muß ohne Unterbrechung an den Antrieben vorbeigeführt werden und jeder Antrieb ist (über Kegelräder) durch eine „Stichwelle“ mit der Hauptwelle zu verbinden. Tritt an irgendeinem der Antriebe eine Überlast ein, so wird die Stichwelle ausgleichende Drehmomente übertragen. Die Drehsteifigkeit der Wellen ist (u. U. durch Einschalten von Drehstabfedern) auf die Biegesteifigkeit des Troges abzustimmen, außerdem ist in die Stichwellen eine federnde Kupplung einzubauen. Wenn die zulässige Federspannung, also das zulässige Ausgleichmoment überschritten wird und die Kupplung sich infolgedessen unzu-

Gegengewicht

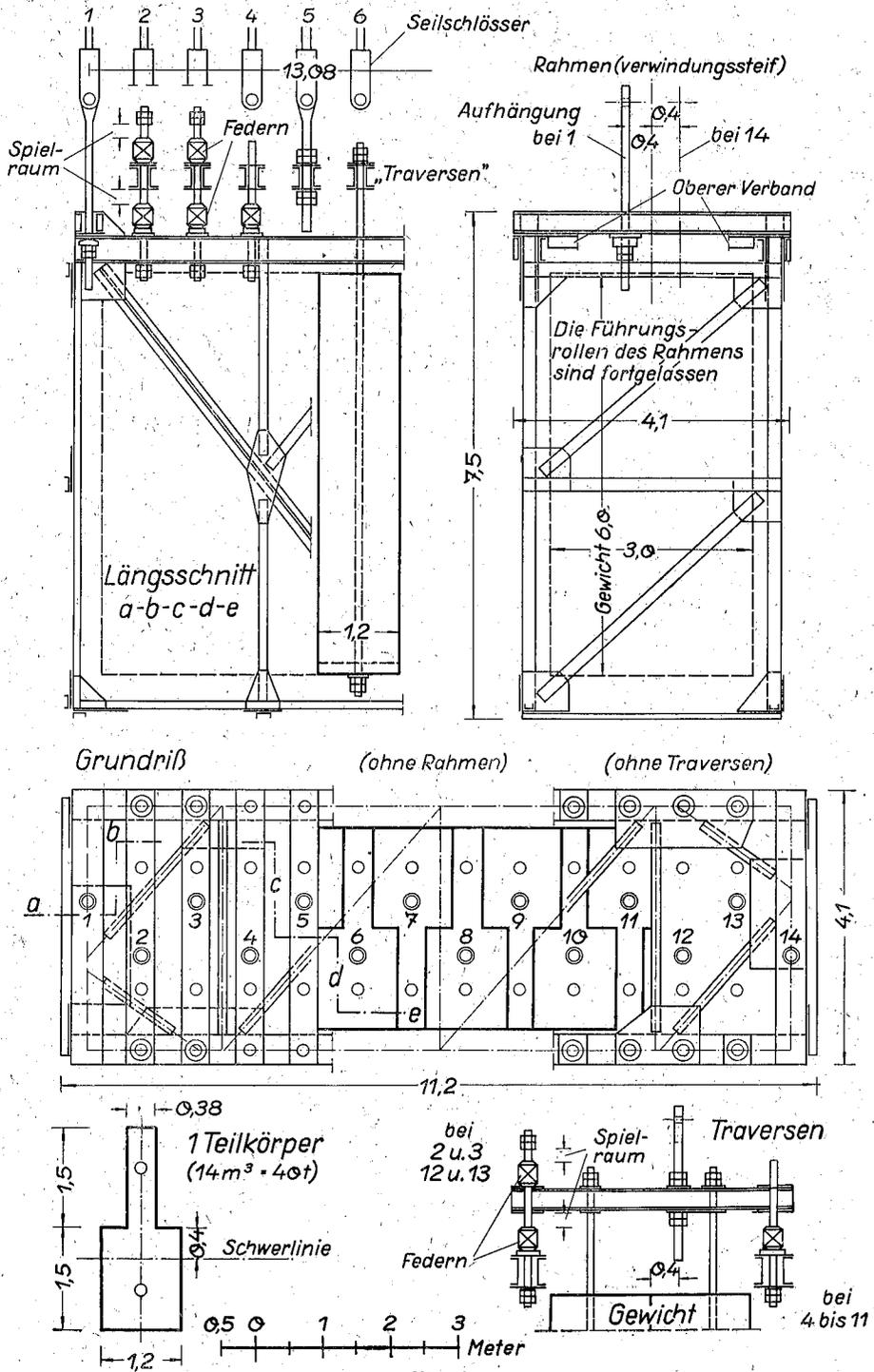


Fig. 4

Bild 4 Gegengewicht

lässig verdreht, muß sie (z. B. durch einen aus ihr heraustretenden Nocken) einen Schalter betätigen, der einen Hilfsstromkreis unterbricht und durch diese Unterbrechung das Hebewerk stillsetzt. Dieses Messen der Überlast in der Vorgelegewelle ist weit empfindlicher und wird eher wirken als die Schalter an den Federtöpfen Niederfinows, weil einer Wellenumdrehung nur eine kleine Hubhöhe des Troges entspricht. Trifft die Überlast gleichmäßig alle Antriebe, so schalten sie sich schon wegen zu hohen Stromverbrauchs ab.

c) Größere Hubgeschwindigkeiten würden die Hebewerksleistung bei großen Gefällen wesentlich steigern und es u. U. ermöglichen, noch mit schmalen Trögen auszukommen, wo sonst schon schwere zweischiffige Tröge nötig würden, sie bedingen aber das Verzichten auf Selbstsperrung. Die Katastrophenlasten müssen nun von Bremsen aufgenommen werden. Bei Hebewerken mit Spindeln nach dem Vorbilde von Rothensee haben die Muttern zwei Antriebe, die ohne weiteres so stark bemessen werden können, daß selbst im Katastrophenfalle ein Schaden an einer der Bremsen noch kein Durchgehen des Hebewerks zur Folge haben würde. Mutterbackensäulen wie in Niederfinow lassen dagegen zwischen den Backen wenig Raum für die Lagerung und den Antrieb der Drehriegel frei, so daß nur beschränkte Bremsmomente auf die Riegel übertragen werden können. Für schnellfahrende Hebewerke würde daher die Anzahl der Drehriegel vergrößert werden müssen.

d) Weil längere Spindeln nicht aus einem Stück hergestellt werden können, war die Verwendung von Spindeln auf Hebewerke mit weniger als 20 m Hub beschränkt, solange kein Weg gefunden war, Teillängen geschmiedeter Spindeln zuverlässig gegen Zug und Verdrehung zu stoßen.

Mit längeren Spindeln wird es möglich, auch Schwimmerhebewerke mit großen Hubhöhen sicher zu führen, lange Spindeln dürfen aber kein selbstsperrendes Gewinde erhalten, damit sie von Drehschwingungen verschont bleiben. Bei angestregtem Betriebe werden die Spurlager der Muttern u. U. durch Ölumlauflauf zu kühlen sein.