

Neuere deutsche Bauausführungen und Projekte von Schiffshebewerken

Von Dr.-Ing. Martin Arens, Oberregierungsbaurat in Münster i. W.

I. Allgemeines.

1. Einfachheit und Dauerhaftigkeit.

Beim Internationalen Schiffahrtskongreß von 1902 in Düsseldorf ist der folgende Beschluß gefaßt worden: „Die Kammerschleusen bleiben die einfachsten und dauerhaftesten Einrichtungen zur Überwindung des Gefälles der Kanäle Bei Wassermangel bilden lotrechte Hebewerke eine durch die Erfahrung bewährte Einrichtung.“

Dieser Beschluß ist auch beim Internationalen Schiffahrtskongreß von 1905 in Mailand ziemlich unverändert übernommen worden. Bemerkenswert ist dabei, daß im Jahre 1902 ausreichende Erfahrungen von genügender Zeitdauer nur mit Druckwasser-Hebewerken vorlagen.

Inzwischen sind nun die 3 großen deutschen lotrechten Schiffshebewerke Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee (Abb 1 bis 3) in den Kreis der praktisch erprobten und im Betrieb langjährig bewährten Hebewerke eingetreten, von denen Henrichenburg und Rothensee als Schwimmerhebewerk und Niederfinow als Gegengewichtshebewerk konstruiert worden sind, und es kann als erwiesen angesehen werden, daß nach 50 Jahren Bewährungsprobe des Schiffshebewerkes Henrichenburg auch diesem Bauwerk die Eigenschaft einer „einfachen und dauerhaften Einrichtung“ gleich den Kammerschleusen zuzuerkennen ist.

Einfach muß der Betrieb dieses Schwimmerhebewerkes zweifellos genannt werden. Es sind keine verwickelten Mechanismen vorhanden und keine Maßnahmen erforderlich, um die Schiffe während des Schleusens in ruhiger Lage zu halten, was bei Kammerschleusen oft erforderlich ist. Wäre der Betrieb des Hebewerkes Henrichenburg nicht so einfach, müßte es Verwunderung erregen, daß es unter härtesten Bedingungen, bei stoßweisem Verkehr, selbst während zweier langer Kriege einwandfrei gearbeitet und nur höchst selten infolge leichterer Störungen ausgesetzt hat. Müssen doch auch Kammerschleusen von Zeit zu Zeit gleich allen mechanischen Vorrichtungen überholt werden! Die Bewährungsprobe, die das Hebewerk Henrichenburg in seinen 50 Betriebsjahren abgelegt hat, wird erst dann richtig beurteilt werden können, wenn man sich vergegenwärtigt, daß Schiffshebewerke unbedingt als „einmalige“ Konstruktionen angesehen werden müssen. Im Vergleich dazu liegen bei Kammerschleusen, von denen allein in den letzten 25 Jahren zwischen Rhein und Oder 127 gegenüber nur 2 Hebewerken gebaut worden sind, viel umfangreichere Erfahrungen vor, die die Ausführung neuer Schleusen erleichtern. Die Tatsache, daß die drei großen Schiffshebewerke von Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee trotz ihrer

„Einmaligkeit“ einwandfrei arbeiten, beweist die Richtigkeit ihrer Konstruktion, die Gediegenheit der Ausführung und die Einfachheit des Betriebes.

Auch als dauerhaft hat sich das Hebewerk Henrichenburg erwiesen, da es noch keinerlei ernste Alterungserscheinungen zeigt. Das Lebensalter der Schiffshebewerke Niederfinow und Rothensee ist noch zu kurz, als daß sich abschließende Folgerungen ziehen ließen. Das Hebewerk Henrichenburg aber dürfte gut und gern noch einmal 50 Jahre erleben! Dies beweisen die angestellten Untersuchungen. Nach einer Betriebsdauer von 40 Jahren wurde es genau nachgesehen. Die Schwimmerschächte wurden auf etwa 13 m ausgepumpt, so daß die Trogstützen und ihre Anschlüsse an die Schwimmkörper zugänglich waren. Das Untersuchungsergebnis war überraschend gut. Einige wenige durch Rost geschwächte Teile wurden ausgewechselt; hierzu gehörten besonders die Bodenplatten des Troges, namentlich in den runden Übergängen vom Boden in die Wände, die durch das Schleifen von Trossen angegriffen waren. Lose und herausgesprungene Niete wurden nur in ganz geringer Menge gefunden.

Um festzustellen, ob Ermüdungserscheinungen eingetreten waren, wurden von der Trogstütze 1 zwei Fachwerkstäbe ausgebaut, aus denen Probestücke zwecks chemischer Prüfung, Feststellung der Struktur in Querschliffen und Bestimmung der mechanischen Eigenschaften (Zerreiß-, Biege-, Kerbschlagproben) angefertigt wurden. Das Ergebnis bewies, daß trotz der langen Betriebszeit des Hebewerkes keine Versprödung durch Alterung eingetreten war. Dagegen ergab die gleichzeitig vorgenommene Prüfung des maschinellen und elektrischen Teiles des Hebewerkes manche Alters- und Abnutzungsschäden, wie nicht anders zu erwarten war. Immerhin ist bemerkenswert, daß trotz der Schwierigkeit von Schadensbeseitigungen während der Kriegszeit und trotz der Beschaffungsschwierigkeiten nach der Beendigung der Kampfhandlungen der Betrieb flott weitergelaufen ist.

Um den Beweis der „Dauerhaftigkeit“ des Schiffshebewerkes Henrichenburg zu vervollständigen, sei auf den Aufsatz über die hauptsächlichen Betriebserfahrungen am Hebewerk Henrichenburg in der Zeitschrift „Die Wasserwirtschaft“, Jahrgang 1949, Heft 3 hingewiesen. Danach sind erstmalig im Jahre 1916 die Bronze-Muttern der beiden Nordspindeln nach 76 549 Schleusungen und im Jahre 1929 auch die nördliche Unterhaupt-Spindelmutter ausgewechselt worden. Der ursprünglich 28 mm starke Gewindengang war bis auf 7 mm Stärke, also um 21 mm, abgenutzt. Seit 1935 werden Muttern aus stärkerem Material mit einer Brinellhärte $H = 135$ bei einer Festigkeit von 43 bis 48 kg/mm² verwendet. Da die Spindeln eine Brinellhärte $H = \text{rd. } 200$ besitzen, tritt dadurch kein stärkerer Verschleiß der Spindeln ein. Im Jahre 1938 mußten sämtliche 14 Kegelräder, die die Kraft des Spindelmotors auf die Spindeln übertragen, nach 40 Betriebsjahren wegen Verschleißes ausgewechselt werden.

Die Betriebserfahrungen am Schiffshebewerk Henrichenburg haben den überzeugenden Beweis erbracht, daß dieses Bauwerk auch das Attribut „dauerhaft“ mit vollem Recht verdient.

2. Vorteile der Schiffshebewerke gegenüber Kammerschleusen.

Anknüpfend an die Frage, ob ein Schiffshebewerk „einfach“ im Betrieb ist, möge der bekannte Vorteil der neuzeitlichen Schiffshebewerke Niederfinow und Rothensee, daß sie im Gegensatz zu den gewöhnlichen Kammerschleusen fast kein Betriebswasser verbrauchen, insofern besonders her-

**Tabelle 1: Bisher ausgeführte Schiffshebwerke mit senkrechtem Hub
(sämtlich mit Naßförderung)**

Anzahl	Einfach- oder Doppel- Hebwerk	Ort	Wasserstraße	Bauart
1	Doppel		Grand-Western-Canal (England)	1838 erbaut nach Entwurf von 1796. Zwei Holztröge von 9 m Länge. Kähne von 8 t Ladefähigkeit. Gefälle rd. 14 m. Tröge dienen einander als Gegengewichte. Sie hängen an 3 Gelenkketten, die über Rollen geführt werden.
1 (2)	Doppel (Einfach)	Anderton (England)		1875 erbaut als Druckwasser-Hebwerk. 1906 als Gegengewichtshebwerk umgebaut, und zwar wird jetzt jeder Trog für sich durch Gegengewichte an Drahtseilen ausgeglichen. Gefälle 15,10 m. Kähne von 100 t.
1	Doppel	Les Fonti- nettes	Kanal von Neuffossée (Nordfrankreich)	1888 erbaut für Schiffe von 300 t. Gefälle rd. 13 m. Druckwasserhebwerk.
1	Doppel	La Lou- vière	Canal du Centre (Belgien)	1888 vollendet. Für Schiffe von 400 t. Gefälle 15,40 m. Druckwasserhebwerk.
3	Doppel	Houdeng- Aimeries, Bracquegnies Thieu	dgl.	1909 begonnen, 1917 in Betrieb genommen, für Schiffe von 300 t. Gefälle 16,93 m. Druckwasserhebwerk.
2	Doppel	Peter- borough Kirkfield	Trent-Kanal (Kanada)	Gefälle 19,8 m u. 15,24 m. Druckwasserhebwerke für Schiffe von 800 t.
1	Einfach	Henrichenburg	Dortmund-Ems-Kanal (Deutschland)	1899 vollendet. Fünfschwimmerhebwerk für Schiffe von 800 t.
1	Einfach	Niederfinow	Großschiffahrtsweg Berlin—Stettin (Deutschland)	1934 vollendet. Gegengewichtshebwerk für Schiffe von 1000 (bis 1250) t.
1	Einfach	Rothensee	Mittellandkanal (Deutschland)	1938 vollendet. Zweischwimmerhebwerk, für Schiffe von 1000 (bis 1250) t.

vorgehoben werden, als zu einer Kammerschleuse in einem künstlich zu speisenden Schiffahrtskanal in der Regel auch ein Pumpwerk gehört, welches das Schleusungswasser wieder der oberen Kanalhaltung zuführt. Dieses Pumpwerk stellt mithin eine zur Kammerschleuse gehörende Maschinen-

gruppe dar, die die Bau- und Betriebskosten erhöht und Störungen im Betrieb ausgesetzt ist. Nachteilig gegenüber Schiffshebwerken wirken sich ferner beim Betrieb einer Kammerschleuse die Wellen in den anschließenden Kanalhaltungen aus. Über dieses Problem ist u. a. auf dem XVI. Internationalen Schiffahrtskongreß in Brüssel eingehend verhandelt worden*). Die in der oberen Haltung entstehende Senkungswelle ist für den Schiffsverkehr im allgemeinen nicht so von Bedeutung wie die Hebungswelle in der unteren Haltung, denn die Zuführung von Wasser in die Schleusenammer beim Füllen derselben muß langsam beginnen und allmählich anwachsen, um die ruhige Lage der Schiffe in der Schleusenammer nicht zu gefährden. Hierauf braucht beim Entleeren der Schleusenammer weniger Rücksicht genommen zu werden. Daher geht die Entleerung schneller vor sich als die Füllung und bewirkt eine größere Hebungswelle. Ihre Höhe ist in bestehenden Kanälen mit 40 cm und mehr gemessen worden. Um die Wellen unschädlich zu machen, werden häufig größere Wasserquerschnitte im Anschluß an die Schleusen gewählt. Der Vorschlag eines früheren Schiffahrtskongresses, zum Unschädlichmachen der Schleusenwellen den Ufern größere Rauigkeit zu geben, ist m. W. niemals zur Ausführung gekommen. Schließlich müssen auch die nahegelegenen Brücken, die über den Kanal führen, eine größere Durchfahrtshöhe und damit höhere und längere Rampen haben. All dies verursacht zusätzliche Kosten zu Lasten der normalen Kammerschleusen, die bei einem Kostenvergleich zwischen Hebewerk und Kammerschleuse nicht außer Acht gelassen werden dürfen.

Ob auch die Hebewerke Niederfinow und Rothensee das Attribut „dauerhaft“ verdienen werden, wird die Zukunft lehren. Immerhin hat ersteres sich bereits 15 Jahre und letzteres 11 Jahre bewährt. Wie sicher sich die Erbauer des Hebewerkes Rothensee schon im Voraus des Erfolges ihrer Arbeit gewesen sind, geht daraus hervor, daß schon mehrere Jahre vor Beendigung dieses Baues auf der anderen Seite der Elbe genau nach denselben baulichen Grundsätzen mit der Herstellung des Doppelschiffshebwerkes Hohenwarthe begonnen worden ist. Es handelt sich hier um zwei Einzelhebwerke von ungefähr gleicher Größe und gleichem größten Hub wie Rothensee (Regelhub 18,60 m). Nach Fertigstellung der Schwimmerschächte und der Troglammern hat wegen des Krieges der Bau des Doppelhebwerkes Hohenwarthe eingestellt werden müssen.

II. Entwicklung des Schiffshebwerkbaues mit den drei Bauwerken Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee.

Die Entwicklung, die der Hebewerksbau mit den 3 Bauwerken Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee erfahren hat, ist erstens als eine ausgesprochene Vervollkommnung in grundsätzlichen Fragen des Hebewerksbaues anzusehen, und zwar im Zusammenhang mit den größeren Abmessungen des Troges und dem größeren Hub, mit der Rücksichtnahme auf weniger tragfähige Bodenschichten, mit der Vervollkommnung der Betriebseinrichtungen, mit der Beschleunigung des Schiffsverkehrs und mit dem Streben nach Niedrighalten der Bau- und Betriebskosten und des Verschleißes der Konstruktionsteile. Zweitens handelt es sich um die Anwendung von neueren Fortschritten der Technik mit gleicher Zielsetzung; als Beispiel hierfür mögen dienen bei der Antriebsregelung das Leonard-Aggregat in Niederfinow und Rothensee und die Photozelle beim Hebewerk Niederfinow, die das selbsttätige Anhalten des Troges in der zum

*) Vgl. den Aufsatz von Wiener über Schleusungs- u. Kraftwerkswellen in Schiffahrtskanälen.

Wasserstand der Haltung richtigen Höhenlage bewirkt. Im folgenden werden wegen des beschränkten Raums nur die grundsätzlichen Fragen des Hebewerkbaues behandelt.

1. Entwicklung in der Wahl der Hebwerksysteme.

Einen Überblick über die sich steigernden Anforderungen an die Abmessungen des Troges und das zu überwindende Gefälle gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Trogabmessungen und Gefälle.

	Canal du Centre	Henrichen- burg	Niederfinow	Rothensee.
Vollendet im Jahre . . .	1888 (Nr. I La Louvière) 1917 (Nr. IV Thieu)	1899	1934	1938
Trogabmessungen:				
Länge m	43	70	85	85
Breite m	5,80 (5,30)	8,6	12	12
Tragfähigkeit der Schiffe	300 bis 400 t	750 t	1000 (bis 1250) t	1000 (bis 1250) t
Höchstgefälle m	15,40 (Nr. I) 16,93 (Nr. II bis IV)	16	37,21	18,67

Diese Tabelle zeigt, daß die Troglänge auf fast das Doppelte und die Trogbreite auf über das Doppelte angewachsen ist. Daraus ergibt sich eine rund vierfache Grundrißfläche und ein rund vierfaches Gewicht der Wasserfüllung. Die Wassertiefe im Trog ist nicht wesentlich größer geworden. Dieses erhebliche Anwachsen der zu bewegendes Last hat die Bauart der neuen Hebwerke im allgemeinen mehr beeinflusst als das Höchstgefälle, das nur bei Niederfinow völlig aus dem Rahmen des bisher Dagewesenen herausfällt.

Bei dem belgischen Hebewerk von La Louvière erreicht der Wasserdruck in den Preßzylindern 34 at. Eine Vergrößerung des Gewichtes der beweglichen Nutzlast würde entweder eine entsprechende Vergrößerung des Kolbendurchmessers oder des Wasserdrucks oder beides bedingen. Alle diese Lösungen bereiten technische Schwierigkeiten. Eine Steigerung des Wasserdrucks erhöht die Schwierigkeiten der Abdichtung, während eine Vergrößerung des Kolbendurchmessers die ohnehin schon nicht einfache Unterhaltung der umfangreichen Stopfbüchsen erschwert. Die Wahl von zwei statt eines Preßzylinders wäre bedenklich, weil damit gerechnet werden muß, daß bei Leckwerden des Troges oder aus einem anderen Grunde eine verschiedene Belastung der beiden Kolben eintreten kann, die Klemmungen und Verbiegungen zur Folge haben würde. Auch wäre der Unterhaltungsaufwand an den zwei Stopfbüchsen doppelt. In Anbetracht der sonstigen Nachteile dieser Bauart (starre Verbindung zwischen Hebewerk und Baugrund, konzentrierter Kraftangriff in der Druckwasserpresse, unzugängliche Anordnung wichtigster Maschinenteile) ist daher das Druckwasserhebewerk für die gesteigerten Anforderungen an die Abmessungen des Troges nicht mehr zur Anwendung gekommen. Es muß aber gesagt werden, daß die Preßwasserhebewerke in vieler Hinsicht sehr bemerkenswert sind und die Betriebssicherheit sich mit entsprechendem

Aufwand wie bei den neuen Schwimmerhebewerken und Gegengewichtshebewerken gleichfalls noch steigern ließe. Z. B. würden statt der hydraulischen Antriebe der einzelnen Apparate neuzeitliche elektrische Antriebe gewählt werden können.

Das Schwimmerhebewerk bietet demgegenüber einen wesentlichen Fortschritt, insbesondere durch Loslösung des Hauptteiles des Hebewerks von dem Fundament. Es ist daher sogar unempfindlich gegen Bodenzerrungen infolge Bergbau zu machen. Sein Nachteil sind die Baukosten für die Schwimmerschächte, die bei schlechtem Baugrund und großer Hubhöhe zur Unwirtschaftlichkeit des Systems führen können. Bei Henrichsburg steht dichter, fast waagrecht gelagerter fester Mergel ohne Klüfte und mit geringer Wasserführung an. Bei Rothensee war zunächst Sand und Kies, dann Geschiebemergel, Septarienton, sehr feiner Sand (sog. Magdeburger Grünsand) zu durchteufen, und etwa 37 bis 44 m unter Gelände stand felsartige Grauwacke und Tonschiefer an, die von den Bohrungen nicht durchfahren worden waren. In beiden Fällen boten sich mithin günstige Bedingungen für die Anlage der Schwimmerschächte. Immerhin waren bei Rothensee die Abteufkosten durch das infolge des Grünsandes anzuwendende Gefrierverfahren schon erheblich.

So günstige Untergrundbedingungen lagen in Niederfinow nicht vor. Hier standen am Fuße eines Talhanges hauptsächlich alluviale und diluviale stark wasserführende Sande an. Das große Gefälle von (maximal) 37,21 m hätte die Abteufung hinreichend tiefer Schwimmerschächte unter diesen Verhältnissen übermäßig erschwert und verteuert. Dies führte zur Wahl eines Gegengewichtshebewerkes.

Für Rothensee sind vor Beginn des Baues vergleichende Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt worden, wobei die Bau- und Betriebskosten für ein Gegengewicht- und ein Vierschwimmerhebewerk (s. unten) gegenüber gestellt wurden. Es ergab sich ungefähre Gleichheit der Baukosten, aber eine Überlegenheit des Vierschwimmerhebewerkes durch geringere Unterhaltungskosten infolge der wesentlichen Verringerung der maschinellen Anlage, weil die vielen Seilscheiben mit ihren zu schmierenden Lagern und die Seile fortfallen. Das für Rothensee später gewählte System mit nur zwei Schwimmern ergab sich an Baukosten um 4 v. H. billiger als das Vierschwimmerhebewerk und damit auch als das Gegengewichtshebewerk. Die Überlegenheit des Zweischwimmersystems gegenüber einer größeren Anzahl von Schwimmern wird in einem späteren Abschnitt nachgewiesen werden.

Diese hier kurz geschilderten Erkenntnisse und Entscheidungen sind das Ergebnis jahrzehntelanger sorgfältigster Vorarbeiten an den verschiedensten Stellen gewesen. Teilweise sind umfangreiche Versuche ausgeführt worden, z. B. Erprobung des Antriebes für das Hebewerk Niederfinow an Hand eines Teilmodells 1:5, Untersuchung der Seilsteifigkeit für Niederfinow mittels eines Seilversuchsturmes in Berlin-Dahlem, Vorarbeiten für die Gefriergründung der Schwimmerschächte Rothensee und Hohenwarthe in einer Frostversuchsstation bei Rothensee u. a.

2. Erzielung des Gewichtsausgleiches.

Bei den Schwimmerhebewerken ist ohne weiteres kein vollständiger Gewichtsausgleich vorhanden, denn das auf den Schwimmern ruhende Traggerüst für den Trog verliert beim Eintauchen ins Wasser der Schwimmerschächte an Gewicht durch Auftrieb. Das „bewegliche System“ ist also beim Trog in oberer Stellung schwerer als in der unteren Stellung.

Der Trog des Hebewerks Henrichenburg wird daher während der Talfahrt mit 3 cm Wasser mehr belastet als bei der Bergfahrt. Das ergibt einen Wasserverbrauch von rund 18 m^3 . Bei dem belgischen Druckwasserhebewerk La Louvière wird die Talfahrt mit 32 cm Mehrwasser erzwungen, wobei trotz der kleineren Trogabmessungen 80 m^3 Wasser verbraucht werden. Da der Gewichtsunterschied beim Hebewerk Henrichenburg infolge des vorhandenen oder fehlenden Auftriebes der Troggerüste 39 t beträgt, ergibt sich, daß dieser Einfluß größer ist als der der Wasserzusatzlast für die Talfahrt. Es wird also nicht durch das Über- oder Untergewicht der Wasserfüllung allein die Antriebskraft auf das bewegliche System ausgeübt, sondern durch den Elektromotor, der die 4 Spindeln in drehende Bewegung setzt (s. unten). Sollte der Fall eintreten, daß der Wasserstand im Trog vor Beginn der Fahrt nicht genau genug eingestellt ist, so läßt sich die dadurch eintretende Überlastung des Motors während der Fahrt am Ampèremeter feststellen und der gewünschte Zustand erreichen, indem noch nachträglich während der Fahrt Wasser zu- oder abgelassen wird. Dadurch werden Störungen (Überanstrengung des Spindelmotors, Heißlaufen der oberen Spindelspurlager) vermieden.

Beim Hebewerk Rothensee ist der Gewichtsausgleich in der höchsten Trogstellung beim Sollwasserstand von 2,50 m im Trog vollständig erzielt. Die beim Abwärtsfahren durch das Eintauchen der Troggerüste erzeugte Gewichtsverminderung wird nahezu ausgeglichen durch eine Auftriebsverminderung, die dadurch bewirkt wird, daß jeder Schwimmer in seiner Achse einen durchlaufenden, oben geschlossenen, unten offenen Schacht hat, der mit Preßluft gefüllt ist. Die Preßluftsäule wird beim Niederfahren des Troges zusammengepreßt, ihre Raumverminderung gleicht die Gewichtsverminderung infolge Eintauchens des Traggerüstes nahezu aus. Dieser günstige Gewichtsausgleich drückt sich in einer geringeren Motorenleistung aus. Es ist sogar möglich, ohne Überlastung der Motore mit einer Über- oder Unterlast von 80 t zu fahren, was einer Wasserschwankung im Troge von $\pm 7 \text{ cm}$ entspricht.

Einer Gleichgewichtsstörung infolge Vollaufens der Schwimmer ist durch zwei in jeden der beiden Schwimmer eingebaute Zwischenböden vorgebeugt, die den Schwimmer in drei nahezu gleich große Zellen aufteilen. Preßluftfüllung der Schwimmerzellen mit einem den größten Außenwasserdruck übersteigenden Druck verhindert weiter das Eindringen von Wasser.

Vollkommener Gewichtsausgleich wird beim Gegengewichtshebewerk dadurch erzielt, daß Ausgleichsketten zwischen Trog und Gegengewichte gehängt sind, die das jeweilige Übergewicht der Seile auf der einen oder anderen Seite der Seilscheibe in jeder Höhenlage des Troges ausgleichen. Da vier solcher Ausgleichsketten das Gewicht von 256 Seilen auszugleichen haben, wiegt 1 m Ausgleichskette soviel wie $256 : 4 = 64 \text{ m}$ Seil. Die Seile mit Zubehör und die Ausgleichsketten zusammen vermehren die bewegte Last um 240 t.

Neben dieser regelmäßigen und daher ausgleichbaren Ursache einer Gleichgewichtsstörung können Über- oder Unterlasten durch unrichtige Trogfüllung eintreten, sei es infolge Unachtsamkeit beim Anfahren an die Halungen, sei es aus Windstauänderung während des Ein- und Ausfahrens von Kähnen, durch Wasserstandsänderungen beim Schleusen in der benachbarten Schleusentreppe oder aus anderen Gründen. Schließlich kann im Grenzfalle wohl gar mit einem völligen Auslaufen des Troges gerechnet werden, wobei eine Ungleichheit von 2690 t (Niederfinow) entsteht.

Solche Gleichgewichtsstörungen sind bei allen Hebwerken zu berücksichtigen, und es wird gezeigt werden, welche Einrichtungen die Hebwerke gegen Schäden und Gefahren in solchen Fällen schützen.

Wesentlich ist aber, daß alle Hebwerke mit „Naßförderung“ im Gegensatz zu denen mit „Trockenförderung“ (mit trockenem Schiffstrog) im Regelbetrieb weitestgehenden Gewichtsausgleich besitzen. Die Leistungen der Antriebsmotoren und die Abmessungen der Getriebeteile bleiben daher in mäßigen Grenzen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, wie die folgenden Abschnitte zeigen werden, daß bei den Hebwerken mit Naßförderung ein Abweichen vom Gewichtsausgleich als Beginn einer Störung oder gar einer Katastrophe erkannt werden kann, dem sogleich durch selbsttätige Maßnahmen entgegengearbeitet wird, was die Betriebssicherheit erheblich steigert.

Es wird sich auch in den folgenden Abschnitten als zweckmäßig erweisen, im allgemeinen das Hebwerk Rothensee vor dem von Niederfinow zu behandeln, obwohl es einige Jahre später gebaut worden ist, damit erst die beiden Schwimmerhebwerke Henrichenburg und Rothensee erörtert werden und erst dann das Gegengewichtshebwerk Niederfinow.

3. Entwicklung des Antriebs.

Bei den Preßwasserhebwerken des Canal du Centre sind keine Vorkehrungen zur Sicherung der Tröge während der Bewegung oder in den Endstellungen für den Fall eines Bruches oder einer Beschädigung von Konstruktionsteilen oder der Dichtungen vorhanden. Es ist allerdings große Sorgfalt auf zuverlässige Ausbildung der gefährdeten Bauteile gelegt worden.

Dieselbe Sorgfalt hat auch bei den neueren Hebwerken Platz gegriffen. Außerdem ist aber noch eine besondere Sicherung des Troges gegen unerwünschte Auf- und Abwärtsbewegung in den sogenannten „Katastrophenfällen“ (Trog leerlaufen und Vollaufen der Schwimmer) angebracht. Diese besteht in einer Abfangvorrichtung für den Trog, die gänzlich unabhängig von der normalen Trugunterstützung ist, aber mit dem Antrieb des Troges gekoppelt ist. Beim Henrichenburger Fünfschwimmerhebwerk wird der Antrieb durch vier lotrechte Spindeln bewirkt, die sich innerhalb von Schraubenmuttern drehen, welche an dem Trog befestigt sind. Die Spindeln sind durch Wellenleitungen miteinander verbunden und bewirken somit eine gleichmäßige, von der Drehzahl des Motors abhängige Auf- und Abbewegung und Parallelführung des Troges. Neben dieser Funktion haben die Spindeln noch die zweite Aufgabe, in den „Katastrophenfällen“ als Trogabfang zu dienen, wobei sie erhebliche lotrechte Lasten aufzunehmen haben. Bei Trog leerlaufen sind diese Kräfte infolge des Überschusses an Auftrieb nach oben gerichtet und bei Wassereintritt in die Schwimmer nach unten. Die Querebenen, in denen die beiden Spindelpaare liegen, befinden sich in der Mitte zwischen dem 1. und 2. und zwischen dem 4. und 5. Schwimmer. Solange das „bewegte System“ (Trog mit Schwimmern und Zwischenstützen) ganz oder annähernd im labilen Gleichgewicht ist, sind die Belastungen der Trogbrücke nicht erheblich. Tritt aber der Fall ein, daß entweder der Trog leerläuft oder bis zum Rand vollläuft oder einer oder mehrere Schwimmer vollaufen, so ergeben sich für die Trogbrücke sehr ungünstige Belastungsfälle. Ihre Berücksichtigung hat bei Wahl dieser Bauart für ein größeres Schiffshebwerk ein entsprechend großes Gewicht und hohe Kosten für die Brücke zur Folge, selbst wenn man für solche außergewöhnlichen Fälle

erhöhte Spannungen zuläßt. Diese Tatsache hat, wie wir sehen werden, zur Wahl des Zweischwimmerhebewerks für Rothensee geführt.

Das Gewinde der Spindeln des Hebewerkes Henrichenburg ist doppelgängig mit einer Steigung von $7^{\circ} 40'$ oder einem Tangens von 0,135. Es ist nicht selbstsperrend. Unter Mitwirkung der Reibung in den Spindelspurlagern tritt aber in den meisten Lastfällen Selbstsperrung ein. Für alle Fälle wird durch eine Bremse, die auf die Motorwelle wirkt, dafür gesorgt, daß der Trog sich nicht von selbst in Bewegung setzen kann. Für den Spindelantrieb stehen 70 bis 80 PS zur Verfügung; es ist aber eine vorübergehende Steigerung bis zu 150 PS möglich.

Das Hebewerk Rothensee ist mit feststehenden Spindeln und drehbaren Trogmuttern ausgerüstet. Dies bedeutet einen großen Fortschritt gegenüber Henrichenburg. Damit der Spindelantrieb nämlich seine zweite Aufgabe, den Trog in den „Katastrophenfällen“ in jeder beliebigen Höhenlage festzuhalten, ohne Zuhilfenahme einer Bremse erfüllen kann, muß er mit Sicherheit selbstsperrend sein. Dies trifft für Henrichenburg nicht zu, und der Henrichenburger Trog ist tatsächlich viermal im Laufe der Zeit infolge eines ungewollten Überwiegens des Auftriebes über die nach unten gerichteten Lasten von der unteren Lage aus nach oben in Bewegung geraten. Bei Wahl des Spindel-Steigungswinkels steht die Forderung nach einem günstigen Wirkungsgrad für den normalen Betrieb bei antreibendem Motor (großer Steigungswinkel!) der zweiten Forderung nach Selbstsperrung bei antreibendem Trog (kleiner Steigungswinkel!) entgegen. Dabei ist aber zu beachten, daß der Gesamtwirkungsgrad des Spindeltriebs außer von dem Spindelsteigungswinkel auch noch von dem Reibungswert des Spurlagers beeinflußt wird. Der Gesamtwirkungsgrad ist nun nicht in jedem Belastungsfall gleich groß. Ist z. B. infolge etwas zu geringer Wasserfüllung im Henrichenburger Trog ein Auftriebsüberschuß um so viel vorhanden, wie die Spindeln wiegen (40 t), so sind die Spurlager unbelastet und der Gesamtwirkungsgrad ist nur von dem Widerstand im Gewinde abhängig. In diesem Falle setzt also der Gesamtantrieb dem Druck des Troges auf das Gewinde den geringsten Sperrwiderstand entgegen. Dabei ist die auf das Gewinde wirkende Kraft nach oben gerichtet, d. h. der Trog sucht sich nach oben in Bewegung zu setzen, wenn er nicht durch Bremsen gehalten wird. Gefährlich ist dies dann, wenn der Trog sich nachts in unterer Lage (wegen des geringsten Winddruckes) befindet und die Bremsen versagen.

Ordnet man dagegen wie bei Rothensee die Spindeln fest und die Mutter beweglich an, so werden die Spurlager der Mutter dann unbelastet, wenn das Gleichgewicht im Gewinde durch zu hohe Wasserfüllung des Troges um das verhältnismäßig geringe Maß des Gewichtes der Mutter gestört ist. Im Falle geringsten Sperrwiderstandes sucht also hier der Trog sich nach unten zu bewegen, wo ihm nur ein kurzer Weg bleibt, so daß kein Schaden entstehen könnte. Außerdem ist die Kraft in diesem Gefahrenfall so klein, daß sie nicht zur Beschleunigung der Massen reicht.

Die Spindeln von Rothensee haben ein viergängiges Flachgewinde mit engem Spiel zwischen den Gewindegängen der Mutter und der Spindel und sind bei einem Steigungswinkel von $7^{\circ} 40'$ unter Mitwirkung des Reibungswiderstandes der Lagerung der Mutter selbstsperrend. Zweimal vier Gleichstrommotore von je 60 PS bewirken den Antrieb.

Die oben ausgeführten Nachteile, die ein Fünfschwimmerhebewerk hinsichtlich der Belastung der Trogbrücke in den Katastrophenfällen aufweist, sind bei Rothensee durch die Wahl von nur zwei Schwimmern statt deren fünf (oder vier, wie eine Zeitlang geplant worden war) vermieden worden.

Der Trog ruht fest auf dem Traggerüst des einen Schwimmers und längsbeweglich auf dem des anderen. Die beiden Schwimmer sind so angeordnet, daß ihre Achsen in den die Spindelpaare enthaltenden Querebenen liegen. Zwar werden die Momente aus der Eigenlast und der Wasserfüllung des Troges dann nicht durch Momente aus dem Schwimmerauftrieb entlastet, dafür ist aber die Trogbrücke bei Leerlauf des Troges nur noch mit dem Eigengewicht belastet, weil der Schwimmerauftrieb dann unmittelbar in die Spindeln geht, und beim Vollaufen eines oder beider Schwimmer wird ebenso die ganze lotrechte Zusatzlast von den Spindeln abgefangen, ohne erst durch die Trogbrücke geleitet zu werden. Aus diesen statischen Vorteilen, die sich außerdem auch auf die Triebwerks- und Sicherungsteile auswirken, ergeben sich wieder erhebliche Kostenersparnisse am „bewegten System“ und an den Führungsgerüsten. Außerdem werden die Herstellungskosten für nur zwei Schwimmerschächte und Schwimmerhebework bedeutend geringer. Vergleiche haben ergeben, daß das Zweischwimmerhebework für den Fall Rothensee sich im Bau um 4 v. H. billiger stellte als das Vierschwimmerhebework.

Der auf- und niedergehende Trog wird durch Führungseinrichtungen gegen waagerechte Kräfte in seiner Bahn gehalten. Diese bestehen aus Führungsschienen, die am Führungsgerüst angebracht sind, und aus Führungsrollen am bewegten System. Diese Rollenführungen sind beim Hebework Rothensee doppelseitig mit Vorspannung federnd angeordnet. Es konnte daher auf einen Spielraum zwischen Schienen und Rollen zwecks Vermeidung von Zwängungen verzichtet werden, und dies ist auch mit Rücksicht auf den Spindeltrieb notwendig.

Beim Hebework Niederfinow ist eine noch weitergehende Aufteilung der betrieblichen Funktionen auf verschiedene Maschinenteile vorgenommen worden. Hier wird erstens der Gewichtsausgleich durch Gegengewichte, an 256 Drahtseilen hergestellt, zweitens die Antriebskraft durch Zahnstangengetriebe aufgenommen, die gleichzeitig die Parallelführung des Troges gewährleisten, und drittens die Trogsicherung für Katastrophenfälle durch besondere Organe bewirkt, die erst bei größeren Gleichgewichtstörungen in Funktion treten. Dies geschieht dadurch, daß mit jedem Zahnstangentrieb ein Sicherheitsgesperre verbunden ist, das aus einer selbstsperrenden kurzen Schraubenspindel (Drehriegel) besteht, welche in einer von oben bis unten durchlaufenden geschlitzten Mutter (Mutterbackensäule) mit Spiel nach oben und unten, der Trogbewegung folgend, gedreht wird. Es befinden sich also fest am Hebeworksgerüst die Zahnstangen und Mutterbackensäulen, dagegen am Trog drehbar, aber sonst starr die Drehriegel, während die Zahnritzel am Trog derart federnd gelagert sind, daß sie bei Erreichen einer bestimmten Überbelastung nach oben oder unten nachgeben und damit die Gänge der Drehriegel zum Anliegen an die Gänge der Mutterbackensäulen bringen (Abb. 4). Zahnritzel und Drehriegel müssen also zusammen angetrieben werden, damit die Drehriegel im normalen Betrieb die Mutterbackensäule nicht berühren.

Die federnd gelagerten Ritzel geben erst dann nach, wenn der Zahndruck nach oben oder unten den Wert von 30 t übersteigt. Zu diesem Zwecke sind die Federn in beiden Richtungen vorgespannt. Steigt der Zahndruck von 30 t bis 52 t an, so verändern die Federn ihre Länge, wobei ein ausnutzbarer Federweg von 120 mm zurückgelegt werden kann. Dieser entspricht einem Ausschlag des Antriebsritzels von 30 mm. Bei weiterem Anwachsen des Zahndruckes tritt durch den Drehriegel, dessen rauh bearbeitetes Gewinde einen Steigungswinkel von $7\frac{1}{2}^\circ$ hat, Sperrung der Trogbewegung ein. So wird der Trog sicher in Ruhestellung gebracht und vermieden, daß

die Zahngetriebe überlastet werden. Bei gänzlichem Trogleerlauf würden sie bis zu 650 t Belastung je Ritzel erhalten, was eine wirtschaftliche Dimensionierung erschwert. Diese Last geht ohne Nachteile in den Drehriegel über.

Als Antriebsmotor besitzt jede der 4 durch eine Wellen-Ringleitung miteinander verbundenen Antriebmaschinen einen Gleichstrommotor von 75 PS, dessen Geschwindigkeit durch Leonardschaltung geregelt wird.

4. Steuerung des Antriebes und Bremsung.

Wie die Steuerung des Antriebes der Schiffshebwerke und die selbsttätige Bremsung sich zugunsten einer aufs Höchste gesteigerten Betriebssicherheit vervollkommen hat, möge folgenden Betrachtungen entnommen werden.

Beim Hebewerk Henrichenburg wird die Bewegung des Troges durch Einschalten des elektrischen Stromes eingeleitet und durch Ausschalten desselben beendet. Außerdem sorgt noch zur Sicherheit ein Endausschalter für selbsttätige Unterbrechung der Stromzuführung. Schließlich wirkt als weitere Sicherung gegen eine unerwünschte Trogbewegung über die Endstellung hinaus das Vorhandensein des Keildichtungsrahmens, der an den Haltungen angebracht ist und gegen den sich der Trog preßt (s. unten). Jedes Ausschalten des Fahrstromes hat sofortiges Anlegen der Antriebsbackenbremse zur Folge.

Beim Hebewerk Rothensee wird der Antrieb grundsätzlich ebenso gesteuert wie in Henrichenburg, nur ist durch die Leonardschaltung eine wesentliche Vereinfachung der Steuerung ermöglicht worden, indem durch die Dämpfungsmaschine die Drehzahl stufenlos auf- und abwärts geregelt wird. Erst nach 1 m Fahrt wird die Geschwindigkeit von 15 cm/sec erreicht und 1 m vor dem Ende des Hubes setzt eine für die richtige Erreichung der Endstellung erforderliche Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit ein. Sicherheitsbremsen, die durch elektrohydraulische Bremslüfter stoßfrei bedient werden, überwachen die Trogbewegung. Der zum Antrieb dienende Gleichstrom wird auf dem Trog in einem rotierenden Umformer erzeugt. Der Drehstrom wird dem Trog durch Schleifschuhe zugeführt, die auf Stromschienen am Führungsgerüst gleiten. An beiden Enden des Trogbediensteges sind Steuertafeln aufgestellt, von denen aus alle Arbeitsvorgänge des Hebewerkes (Antrieb des Troges, der Trogverriegelungen, der Andichtrahmen, der Spaltventile und der Tore) in zwangsläufiger Aufeinanderfolge gesteuert werden.

Auch beim Hebewerk Niederfinow, das ja schon vor dem von Rothensee gebaut worden ist, wird die Geschwindigkeit der Antriebsmotoren durch Leonardschaltung geregelt. Jeder dieser Motoren arbeitet über eine Rutschkupplung auf die erste Vorgelegewelle. Diese trägt auch die Bremsvorrichtungen. Da der Trogantrieb (Zahnstangentrieb) nicht selbstsperrend ist, kommt ihnen eine besondere Bedeutung zu. Gebremst wird an jedem Antriebe zunächst durch eine Backenbremse, die durch ein Gewicht angezogen und durch einen Hubmagneten gelöst wird. Die Bremskraft der vier Backenbremsen zusammen ist so groß, daß auf die Antriebsritzel kein Zahndruck infolge Gleichgewichtsstörungen kommen kann, der imstande wäre, den Antrieb durchzuziehen, bevor der Trog durch Ausschlagen der Ritzel infolge Nachgiebigkeit der Ritzellagerung auf die Sicherheitsspindeln (Drehriegel) abgesetzt ist. Zur Erhöhung der Sicherheit ist eine zweite, von der ersten abweichende Bremsvorrichtung eingebaut.

Das richtige Anfahren des Troges an die Haltungen wird bei allen 3 Anlagen durch mechanische Zeigervorrichtungen überwacht. Außerdem

ist bei den Hebewerken Rothensee und Niederfinow noch eine selbsttätige elektrische Begrenzung des Fahrweges vorhanden, die sich auch den wechselnden Wasserständen der Haltungen selbsttätig anpaßt.

Eingehende Veröffentlichungen über das Schiffshebewerk Niederfinow sind von verschiedenen Verfassern in den Jahren 1927 bis 1935 in der Zeitschrift „Die Bautechnik“ oder ihrer Beilage „Der Stahlbau“ erschienen. Sie wurden 1935 zu einem Sonderdruck zusammengefaßt. Auf sie wird für Einzelheiten, zu deren Erörterung es hier an Platz fehlt, verwiesen.

Läßt sich angesichts der weitgehenden Verfeinerung des Antriebsmechanismus auch nicht mehr von „Einfachheit“ der Konstruktion sprechen, so darf nicht vergessen werden, daß auch bei neuzeitlichen Kammerschleusen erheblich höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Bewegungsmechanismen gestellt werden als bisher und daß diese dann ebenfalls nicht mehr als „einfach“ bezeichnet werden können.

Hinsichtlich des Betriebswasserverbrauches kommt dem Hebewerk am nächsten die Sparschleuse. Eine der neuesten Sparschleusen mit je drei Sparbecken beiderseits der Kammer ist die Doppelschachtschleuse Sülfeld am Mittellandkanal. Für jede Füllung und jede Entleerung der Kammer müssen acht Ventile in zwangsläufiger Reihenfolge im richtigen Zeitpunkt geöffnet und wieder geschlossen werden. Größte Sorgfalt in der Abstimmung der Vorgänge ist dabei erforderlich, um die Schiffe in der Kammer nicht zu gefährden. Noch verwickelter ist der Mechanismus einer Speicherschleuse mit geschlossenen kammerartigen Sparbecken, wie sie in vollendeter und bewährter Bauart am Mittellandkanal bei Hannover-Anderten gebaut ist. Hier besitzt jede der beiden Einzelschleusen rechts und links der Schleusenkammer je 25 Speicherbecken, die alle ihr Ventil zum Füllen und Entleeren besitzen.

Im Vergleich mit diesen Sparschleusen bleibt die Bauart auch der neueren Schiffshebewerke einfach zu nennen. Das Grundprinzip und die Bedienung dieser Hebewerke sind fraglos einfach. Fehlern in der Handhabung der Apparate ist durch sinnreiche Einrichtungen weitestgehend vorgebeugt. Es kann von einer neuzeitlichen Maschine, die Gewähr für Betriebssicherheit bietet, nicht mehr verlangt werden, daß sie einfach im Sinne von primitiv ist. Die Forderung muß lauten: „Einfach im Grundgedanken und in der Bedienung, unbedingt betriebssicher in allen denkbaren Fällen, wirtschaftlich und flott im Betrieb!“ Diese Forderung kann bei den neueren Hebewerken als erfüllt gelten.

5. Anschluß zwischen Trog und Haltung.

Mit vorstehenden Ausführungen sind die grundsätzlichen Probleme des Hebewerkbaues, die den Gewichtsausgleich, die Sicherheitsvorrichtungen und die Antriebssteuerung betreffen, behandelt worden. Aus Platzmangel konnte auf die Bauart und die Eigenart der Schwimmer, der Seile mit Seilscheiben, der Tröge und der Hebewerksgestelle nicht näher eingegangen werden. Von den vielen anderen Einzelfragen werden noch die für den Betrieb wichtigen erörtert.

Jeder der beiden Haltungsabschlüsse des Hebewerkes Henrichenburg wird U-förmig von einem eine keilförmige Abschlußplatte tragenden Dichtungsrahmen umfaßt, gegen den der Trog mit keilförmiger Anschlußplatte anläuft. Der Dichtungsrahmen am Haltungsende ist zum Ausgleich der wechselnden Haltungswasserstände in seiner Höhe verstellbar. Die Dichtung zwischen Trog und Haltung erfolgt durch geringes Zusammenpressen des Dichtungsgummis, gegen den sich das Trogende mit seiner schräg

anlaufenden Abschlußfläche anpreßt. Der Trog darf nicht erheblich zu hoch anfahren.

Bei *Rothensee* ist zum Schließen des i. M. 12 cm breiten Spaltes zwischen Trog und Haltung auf dem Trog an seinen beiden Enden je ein U-förmiger, beweglicher Spaltdichtungsrahmen vorhanden, der stopfbüchsenartig gegen den Trog abdichtet und maschinell gegen das Stirnschild der Haltung vorgeschoben wird, an dem er mit einer Gummileiste abdichtet. Vorher wird der bewegliche Teil des Hebewerkes mit zwei durch Schraubenspindeln längsbeweglichen Haken gegen zwei an dem Haltungsabschluß als Gegenhalter fest angebrachte Haken angelegt. Diese Vorrichtung leitet die durch die Wasserfüllung des Spaltes, den Anpreßdruck und etwaige sonstige Belastungen in Troglängsrichtung entstehenden Kräfte in das Haupt über, so daß die Führungsgerüste von diesen Kräften entlastet sind.

Beim Hebewerk *Niederfinow* ist, aber auf den Haltungsenden untergebracht, zum Dichten des Spaltes ebenfalls je ein Rahmen mit Gummileiste vorhanden, der an den Trogschild angepreßt wird (Abb. 5). Die Trogverriegelung besteht an jeder Haltung aus zwei starken Hebeln, die zu beiden Seiten des Troges angeordnet sind und gegen Anschläge am Trog angedrückt werden, die durch einen unter dem Trogboden angebrachten trapezförmigen Gelenkrahmen beweglich verbunden sind, so daß ungleiche Drücke beider Seiten ausgeglichen werden. An der unteren Haltung, wo bei hohem Unterwasser ein größerer Spaltwasserdruck auftritt, sind die Verriegelungshebel und ihr Antrieb mit dem Haltungsabschluß selbst verbunden, um die Kräfte unmittelbar auf diesen überzuleiten. Die Hebel der oberen Trogverriegelung sitzen am Führungsgerüst.

6. Trog- und Haltungstore.

Beim Hebewerk *Henrichenburg* werden die Haltungs- und die Trogtore beim Öffnen zusammengekuppelt. Der Spalt wird vom Oberwasser her gefüllt. Beim Abfahren fließt das Spaltwasser in die Trogkammer, von wo es in das Unterwasser gepumpt wird.

Beim Hebewerk *Rothensee* ist jedes Trogtor mit seinem Haltungstor elektrisch gekuppelt. Das Spaltwasser wird von den Haltungen durch Rohre in den Spalt geleitet. Beim Entleeren fließt es durch eine besondere Rohrleitung ab, am Oberhaupt unmittelbar zum Unterwasser, am Unterhaupt in ein Sammelbecken in der Trogkammer. Infolge des starken Unterschieds der unteren Haltungswasserstände (Elbe) von 6,64 m ist eine besondere Vorkehrung erforderlich, um den Anschluß zwischen Hebewerkstrog und Unterhaupt jederzeit zu erreichen. In einer Kammer des Unterhauptes ist ein lotrecht verschiebbares Schütz, Schildschütz genannt, angeordnet, das gegen das Unterwasser dichtet. In seinem oberen Rand ist die Durchfahrtsöffnung für den Schiffsverkehr eingeschnitten. Sie wird durch das Haltungshubtor verschlossen. Das Schildschütz kann in Stufen von 0,90 m dem wechselnden Unterwasserstand folgend verstellt werden. Eine Umstellung reicht meist für längere Zeit aus und braucht auch bei schnell steigendem Unterwasser höchstens einmal am Tage vorgenommen zu werden.

Beim Hebewerk *Niederfinow* sind die Trogtore mit den Haltungstoren durch Trogverriegelung kraftschlüssig verbunden. Jedes der Tore kann gegen 10 cm Wasserüberdruck geöffnet werden. Die Spaltwassermenge beträgt 5 bis 7 m³; das Spaltfüllen dauert nur 30 Sek., das Leeren etwa 20 Sek.

7. Hubgeschwindigkeiten, Schleusenzeiten.

Beim Hebewerk Henrichenburg beträgt die Hubgeschwindigkeit im Mittel 10 cm/s und die Hubdauer rund 2½ Minuten (Hub 16 m).

Bei Niederfinow dauert mit einer Hubgeschwindigkeit von 12 cm/s der ganze Hub für den rund 36 m langen Weg rund 5 Minuten.

Dieselben Daten betragen für Rothensee 15 cm/s und rund 2 Minuten bei größtem Hub von 18,67 m.

Das Anwachsen der Hubgeschwindigkeit ist also nur unbedeutend. Wichtig ist die schnelle Abwicklung der Nebenverrichtungen: Trogverriegelung, Spaltdichtung, Spaltfüllung und -entleerung und Bewegung der Tore. Ausschlaggebend aber ist bei jedem Schleusenbetrieb die Schnelligkeit der Schiffsbewegungen. Um diese zu fördern, werden für den Übergang der Kähne zwischen den Vorhäfen und dem Trög und umgekehrt elektrische Treidelanlagen verschiedener Art angewandt.

Im Vergleich zu Kammerschleusen ist der Hebewerksbetrieb flott. Z. B. dauert nach dem Einfahren eines Kahnes in den Trög des Hebewerkes Niederfinow (Dauer 300 s) die Betätigung der Verschlüsse knapp 3 Minuten. Davon entfällt auf:

Tore senken	42 Sekunden
Spaltwasser leeren	16 „
Dichtungsrahmen zurückschieben	28 „
Trogverriegelung lösen	12 „
	98 Sekunden

Dann begibt sich der Trogaufseher auf den Trög, den er in rund 5 Minuten (300 s) umsetzt, worauf die Verschlüsse am anderen Haltungshaupt in umgekehrter Reihenfolge in 108 Sekunden betätigt werden. Das Ausfahren des Schiffes dauert rund 220 s. Von der Gesamtschleusenzeit von durchschnittlich 20 Minuten entfallen mithin auf die Schiffsbewegungen und auf den Bewegungsbetrieb des Hebewerkes durchschnittlich je rund 10 Minuten. Eine solche Schnelligkeit ist bei Kammerschleusen nicht möglich, geschweige denn bei Sparschleusen. Deshalb ist die Leistungsfähigkeit eines Hebewerkes auch größer als die einer gleichgroßen Kammerschleuse (etwa das Doppelte einer gewöhnlichen Sparschleuse). Die früher einmal erhobene Forderung nach „Schleppzug-Hebewerken“ trägt diesem Umstand nicht genügend Rechnung und ist technisch nicht zu vertreten.

III. Zukunftsaussichten.

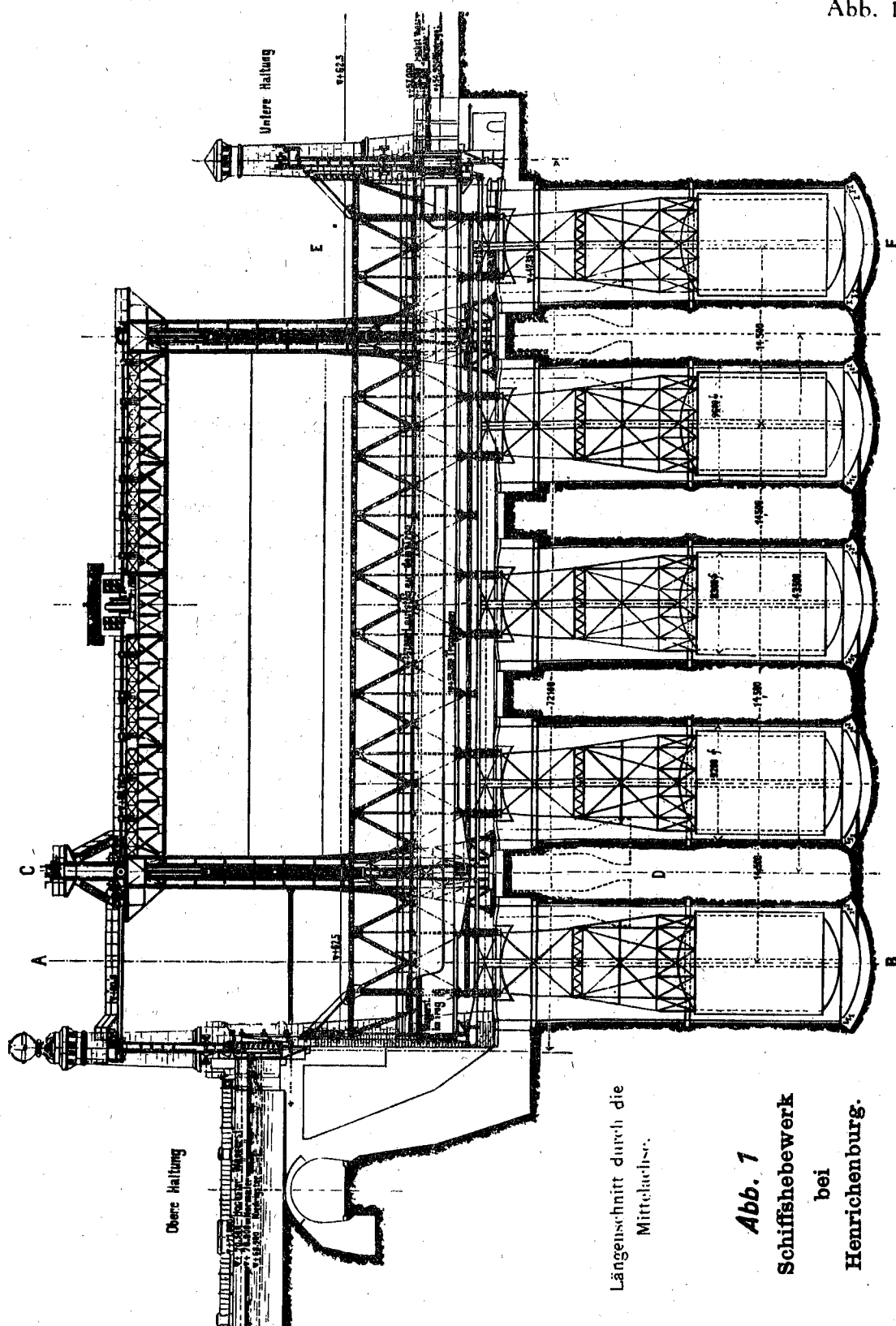
Neben der konstruktiven Vervollkommenung der Schiffshebewerke in allen Einzelteilen ist eine damit Schritt haltende Verbesserung der Materialgüte und -zuverlässigkeit und eine Verfeinerung der Werkstatttechnik und Präzision eingetreten. Hieran sind die ausführenden Stahlbau-, Maschinenbau- und Elektro-Unternehmungen wesentlich beteiligt. Die neueren Hebewerke haben sich seit 1934 (Niederfinow) bzw. 1938 (Rothensee) bewährt und lassen bezüglich Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit gegen Katastrophenfälle und Dauerhaftigkeit nichts zu wünschen übrig. Hieraus ergibt sich, daß einer weiteren Vergrößerung des Troges konstruktiv und betrieblich nichts entgegensteht. Im deutschen Binnenschiffahrtsnetz wird sie wahrscheinlich nicht notwendig sein, weil dessen Ausbau für absehbare Zeit auf das 1000-t-Schiff in Norddeutschland und das 1200- bis 1500-t-Schiff in Süddeutschland festgelegt ist. In Ländern, wo das Seeschiff in großen Strömen tief landeinwärts vordringt, wird es jedoch bei dem heutigen Stande der Werkstatttechnik vielleicht sogar möglich sein, Hebewerke für seegehende

Schiffe zu bauen. Auch läßt sich die Hubhöhe noch über 37 m vergrößern. Dabei wird es allerdings Schwierigkeiten bereiten, Spindeln von der erforderlichen Länge herzustellen und zwar aus werkstattechnischen- und Transportgründen. Dagegen können Mutterbackensäulen auch noch in weit größeren Längen als in Niederfinow angewendet werden. Dort sind sie in Stücken von etwa 6 m Länge hergestellt. Die Werkstattbearbeitung mit einer Sondermaschine gelang so genau, daß sich nach der Montage beim Durchdrehen eines Meßdrehriegels kaum meßbare Abweichungen des durchlaufenden Gewindefadens gegenüber dem Sollmaß ergaben. Die Wahl des Gewichtsenausgleiches bei sehr großen Hubhöhen bleibt in erster Linie von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig. Die in Niederfinow verwendeten Seile verlängern sich durch die Belastung um rund 200 mm, nachdem sie durch Vorrecken bereits eine bleibende Dehnung von 400 mm erfahren haben. Ungleichmäßigkeiten der Seildehnung wird durch eine Waagebalkenkonstruktion und durch Spannschrauben begegnet. Man kann so auch längere Seile als in Niederfinow verwenden. Auch das Schwimmerhebewerk ist bei gutem Baugrund bis zu weit größeren Hubhöhen als in Rothensee verwendbar. Bei felsigem Untergrund dürfte eine Wirtschaftlichkeitsrechnung ergeben, ob eine Vergrößerung des Schwimmer- und Schachtdurchmessers gegenüber Rothensee Vorteile bringt. Die bei großen Hubhöhen anwachsenden Höhen der Troggerüste über den Schwimmern begegnen zunächst noch keinen Schwierigkeiten, und auch die zunehmende Bedeutung der Gleichgewichtsstörungen durch Veränderung des Auftriebs beim Untertauchen der Troggerüste ist zunächst noch kein Hinderungsgrund, da Ausgleichsmöglichkeiten bestehen.

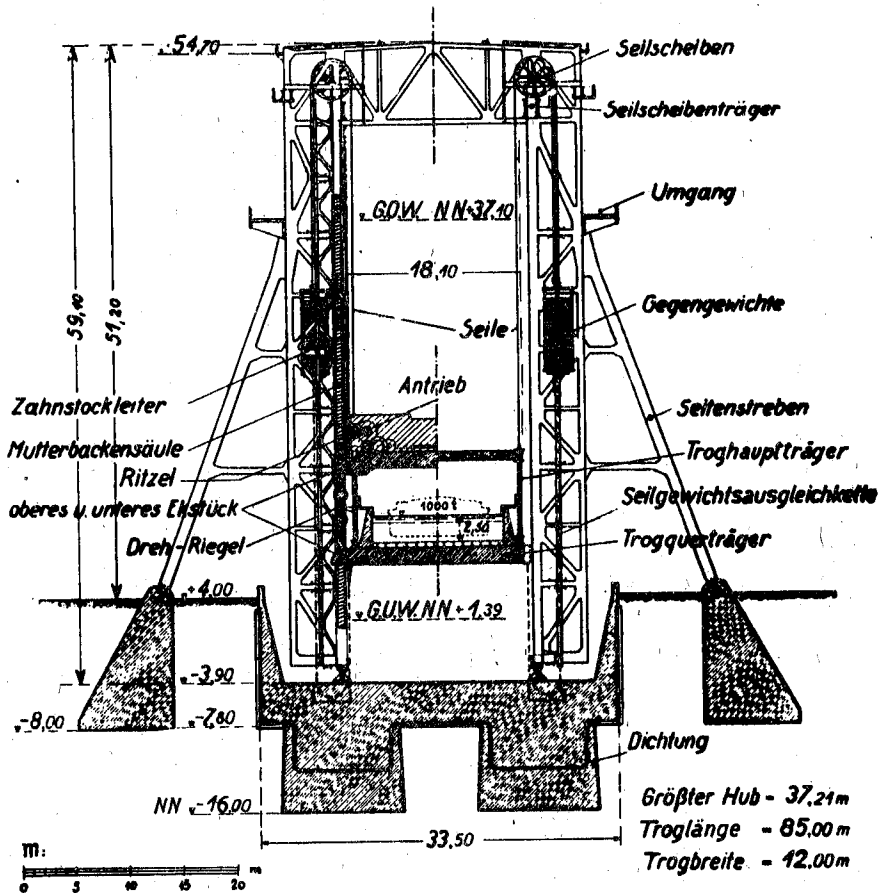
Wenn sich auch die Hebewerke Niederfinow und Rothensee unter den Bedingungen ihres Standortes bewährt haben, ist damit nicht ausgeschlossen, daß in Ländern mit abweichenden Verhältnissen auch andere Lösungen gefunden werden müssen. Zweifellos werden dabei die Erfahrungen bei den Vorarbeiten für Niederfinow und Rothensee und bei der Ausführung verwertet werden können. Auch in Deutschland sind seit Abschluß der Vorarbeiten für das Hebewerk Rothensee schon wieder neue beachtenswerte Vorschläge für wichtige Hebewerksteile gemacht worden (z. B. Antrieb mittels Ritzel und Laschenzahnstangen und Sicherung durch doppelte Schneckensterngetriebe für beliebige Hubhöhen und sowohl für Schwimmer- wie für Gegengewichtshebewerke). Anlaß gab das Auftauchen neuer Hebewerkprojekte vor dem Kriege, wobei bereits das 1200- bis 1500-t-Schiff für die Bemessung des Troges zugrunde gelegt wurde. Die Entwicklung im Hebewerksbau ist daher keineswegs abgeschlossen. Der Verfasser dieser Zeilen hat einen Hebewerksantrieb mit federnd gelagertem Drehriegel erfunden, der ebenfalls für jede beliebige Hubhöhe und sowohl für Schwimmer- wie Gegengewichtshebewerke anwendbar ist.

Jedenfalls ist das Schiffshebewerk im Vergleich zur Kammerschleuse um so mehr am Platze, je größer das zu überwindende Gefälle wird. Denn bei Wahl von Schleusen muß man schon wegen des erheblichen Wasserverbrauchs für große Gefälle den Höhenunterschied auf mehrere Schleusen verteilen, was wiederum für den Betrieb nachteilig ist.

Mögen die vorstehenden Ausführungen über die wichtigsten und grundsätzlichen Fragen des Schiffshebewerkbaues dazu beitragen, das Vertrauen der Fachkreise zu der Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit der Schiffshebewerke zu festigen.



Nr. 7
Abb. 2



**Abb. 2 Querschnitt des Hebewerks Niederfinow
(schematisch)**

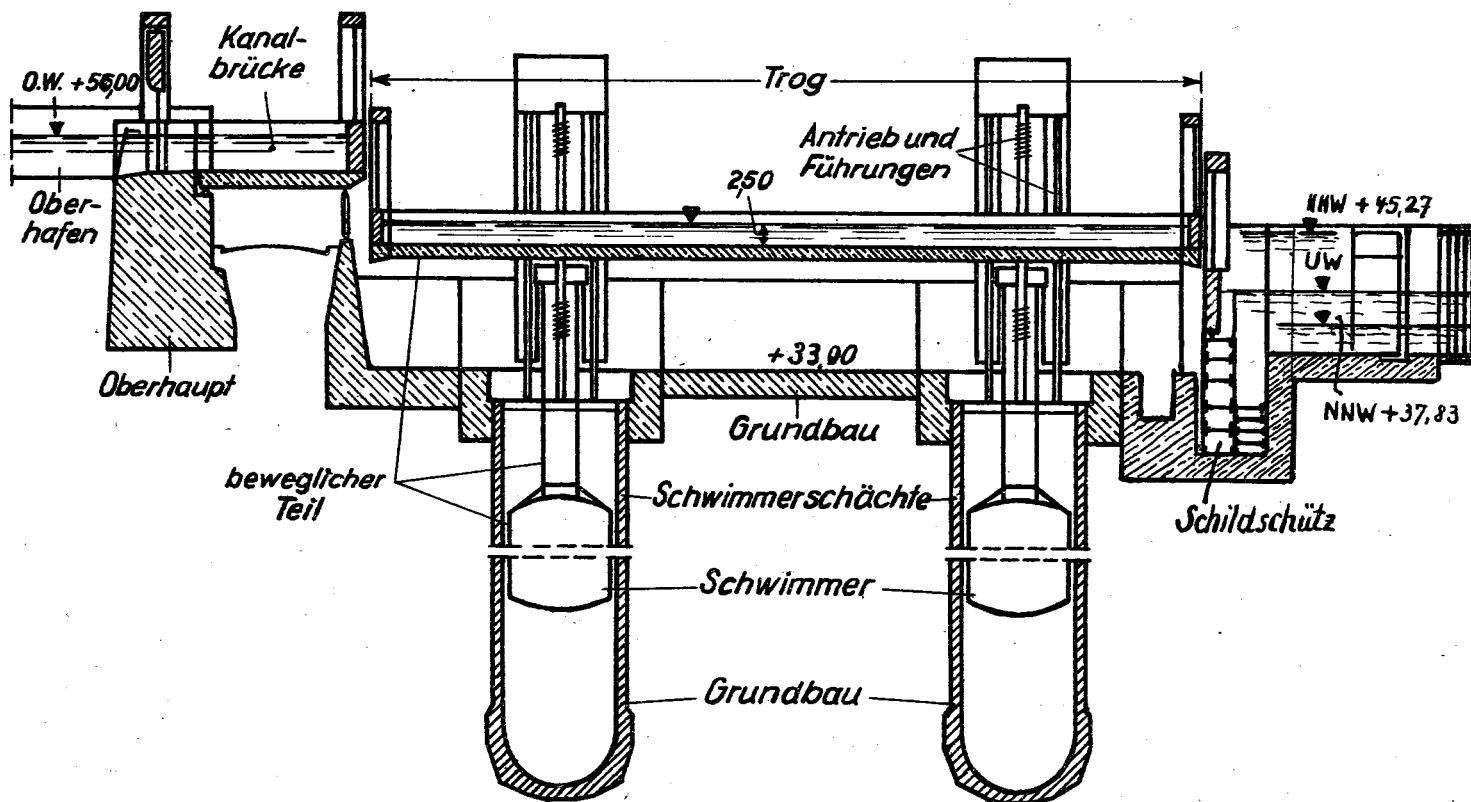


Abb. 3 Längsschnitt des Hebwerks Rothensee (schematisch)

Abb. 4

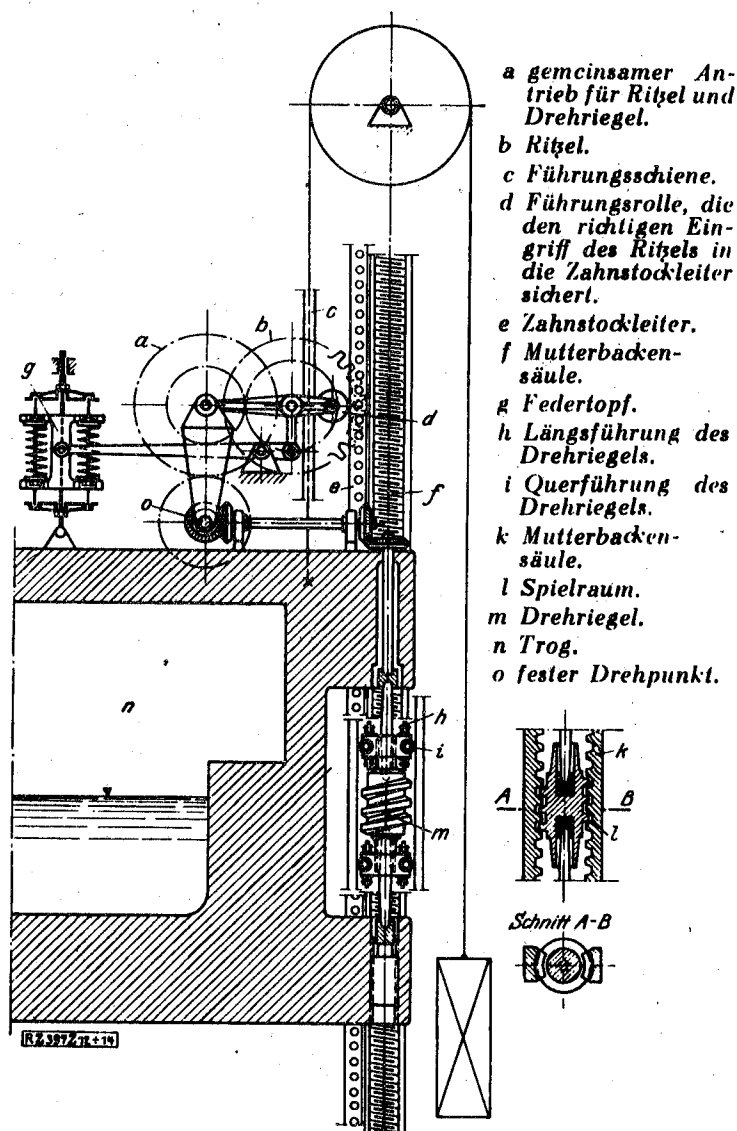


Abb. 4 Schema des Antriebs des Hebewerks Niederfinow.

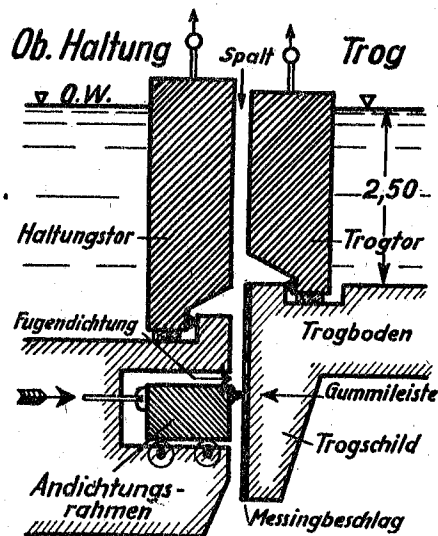


Abb. 5 Dichtungsrahmen des
Hebewerks Niederfinow.
(Schema)