

Deutsche Beiträge
zum Buch
„Hundert Jahre Internationaler Ständiger
Verband für Schiffahrtskongresse“

Thema:

„Entwicklungen im Bau von Schleusen mit geringer Hubhöhe bis zu Bauwerken zur Überwindung größerer Gefällstufen“.

Dipl.-Ing. Hans Donau, Baudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Südwest, Mainz

Dipl.-Ing. Dierk Schröder, Baudirektor, Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Dipl.-Ing. Hans Peter Tzschucke, Baudirektor, Neubauamt Oberrhein, Rastatt

1. Einleitung

Den Bauwerken zur Überwindung von Gefällstufen kommt bei dem Ausbau der natürlichen Gewässer zu Schiffahrtswegen oder der Anlage von Kanälen eine entscheidende Bedeutung zu. Nicht zu Unrecht sind daher die Schleusen als die „Brücken des Wasserstraßenverkehrs“ bezeichnet worden. Diese Bedeutung kommt auch darin zum Ausdruck, daß — von wenigen Ausnahmen abgesehen — sich bisher alle Internationalen Schiffahrtskongresse mit den Schleusen, senkrechten Schiffshebwerken, Schrägaufzügen sowie den sonstigen Möglichkeiten zur Überwindung dieser Gefällstufen beschäftigt haben. Dabei wurden nicht nur die vielfältigen baulichen und konstruktiven Probleme, sondern auch die betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte eingehend erörtert. Wie auf anderen Gebieten, so hat auch der Bau von Schleusen und Schiffshebwerken in den vergangenen 100 Jahren einen derart stürmischen Entwicklungsprozeß durchgemacht, daß es unmöglich ist, ihn im Rahmen der nachfolgenden Ausführungen auch nur annähernd nachzuvollziehen. Es wird deshalb versucht, hier anhand einiger Beispiele diese Entwicklungen und die Bedeutung, die den Internationalen Schiffahrtskongressen dabei zukommt, zu beleuchten. Zur Information über Einzelfragen und für die ausführliche Beschreibung der bisher ausgeführten richtungweisenden Anlagen zur Überwindung von Gefällstufen sei dem Leser das Studium der Einzelberichte zu den bisherigen 25 Schiffahrtskongressen [1] sowie der sonstigen von der „Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation“ (AIPCN) herausgegebenen Veröffentlichungen empfohlen.

Dieses Vorgehen erscheint gerechtfertigt, da es die von der AIPCN eingesetzte „Commission Internationale pour l'étude des écluses, élévateurs de bateaux, cales seches et barrages en rivière“ übernommen hat, den derzeitigen Stand der Technik auf diesem Gebiet umfassend darzustellen und in Kürze ihre Ausarbeitung über die Schleusen veröffentlichen wird [3].

2. Entwicklungen vor Beginn der Internationalen Schiffahrtskongresse

Die Geschichte des Schleusenbaus kann als Geschichte des Wasserstraßenbaus schlechthin angesehen werden. Daher zeigen sich auch in der Binnenschifffahrt unterschiedliche Entwicklungen in der Zeit vor und der Zeit nach der Erfindung der Kammerschleuse. Die schleusenlosen Kanäle litten nicht nur unter wechselnden Wasserständen, sondern auch unter der Strömung, die sich infolge unterschiedlicher Wasserführung in den verbundenen natürlichen Was-

serläufen entwickelte. Erst die Kammerschleuse ermöglichte einen Zusammenschluß von Stromgebieten über dazwischenliegende Wasserscheiden hinweg. In der konstruktiven Gestaltung der Schleusen kommt der jeweilige Stand der Technik zum Ausdruck. Die Abmessungen hingegen spiegeln im wesentlichen den Umfang des Güterverkehrs wider.

Ort und Zeitpunkt der eigentlichen Erfindung der Kammerschleuse liegen im Dunkeln, was wohl mit darauf zurückgeführt werden kann, daß sie sich wohl allmählich aus den sogenannten „Stauschleusen“ mit nur einem Verschuß am Unterhaupt entwickelt haben und auch der Begriff „Schleuse“ in den verschiedenen Gegenden und Epochen unterschiedliche Bedeutung besaß. Die älteste, genau nachweisbare Kammerschleuse wurde 1439 bei Viarenna im Naviglio Grande von den Ingenieuren Filipino da Modena und Fioravante da Bologna erbaut. Kurz darauf gab 1450 Leon Battista Alberti in seinem Werk „De re aedificatoria Libri X“ die erste Beschreibung einer Kammerschleuse. Leonardo da Vinci, dem oft aufgrund der detaillierten Darstellungen in seinen Skizzenbüchern die Erfindung der Kammerschleuse zugeschrieben wird, gab 1497 auf seinen Zeichnungen sowohl einflügelige Drehtore als auch Stemmteure wieder, die als seine Erfindung angesehen werden können. Diese Tore enthielten sich um eine vertikale Achse drehende Klappen zum Füllen und Leeren der Kammer. Als erste Kesselschleuse im norddeutschen Raum ist die 1480 erbaute Palmschleuse bei Lauenburg an der Elbe im Zuge des seit 1398 mit 17 Stauschleusen existierenden Stecknitz-Kanals anzusehen, die bei einem Umbau 1724 ihr heutiges Aussehen erhielt (Abb. 1).

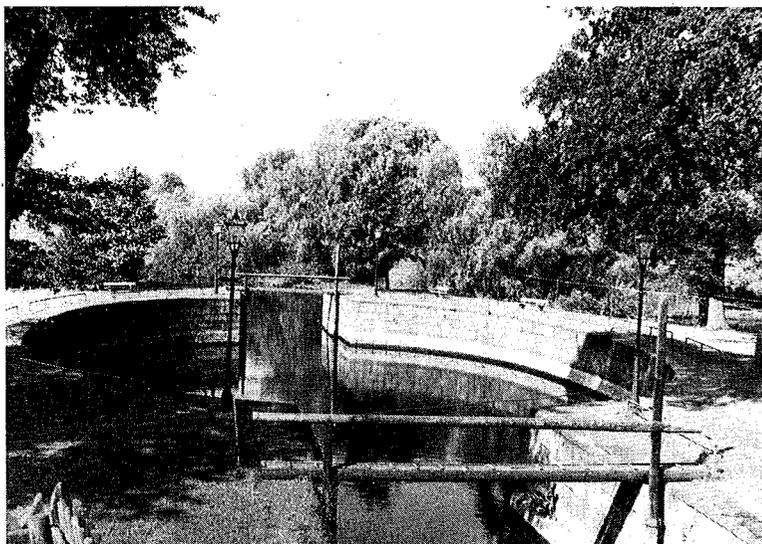


Abb. 1: Palmschleuse bei Lauenburg/ Elbe

Als weitere Meilensteine des Schleusenbaus seien an dieser Stelle noch erwähnt:
1560 Saaleschleusen Bernburg und Calbe mit hölzernen Wänden und hölzernen Hubtoren, die gleichzeitig zum Füllen und Leeren der Kammern dienen,
1561 Kanal von Willebroeck zum Anschluß von Brüssel ans Meer mit 4 Kammerschleusen,
1642 Kanal von Briare mit 43 Schleusen auf 59 km Länge zwischen Seine und Loire; erster heute noch in Betrieb befindlicher Scheitelkanal mit Kammerschleusen,
1643 Sparschleuse (Fallhöhe 6,5 m) von Boesinghe im Kanal von Ypern mit 2 Seitenbecken und Torumläufen,

- 1682 Kanal du Midi von der Garonne zum Mittelmeer mit 99 Schleusen auf 240 km Länge,
- 1750 Versuch der schwedischen Ingenieure Polhelm und Elvius, zur Überwindung des rd. 34 m hohen Trollhättan-Falles 3 Schachtschleusen zu bauen,
- 1774 Bromberger Kanal von der Brahe zur Weichsel mit 9 Schleusen auf 25 km Länge; in Bromberg Bau einer „Sackschleuse“, d.h. einer Schleuse, bei der Ober- und Unterhaupt nebeneinander liegen, um zwei Wasserstraßen unter einem spitzen Winkel miteinander zu verbinden,
- 1822 Ersatz hölzerner Schleusentore durch gußeiserne Tore am Klodnitz-Kanal,
- 1840 Kuppelschleusen in der Lahn bei Weilburg und im Ems-Kanal bei Meppen,
- 1845 Ludwig-Donau-Main-Kanal mit 100 Schleusen auf 172 km Länge (Abb. 2),
- 1856 Kanal von Saima (Finnland) mit 28 Schleusen auf 60 km Länge, darunter 5 doppelte Kuppelschleusen,
- 1862 erste Verwendung von Klappstoren an den Schleusen des Erie-Kanals (USA),
- 1880 erste Verwendung von Rohr- oder Zylinderschützen an der Burgwerder Schleuse in Breslau,
- 1887 Ems-Jade-Kanal mit Weichenschleuse bei Emden (Abb. 3),
- 1889 Schachtschleuse (Fallhöhe 9,92 m) bei La Vilette im Kanal von St. Denis; erste Zwillingschleuse mit Sparbecken.

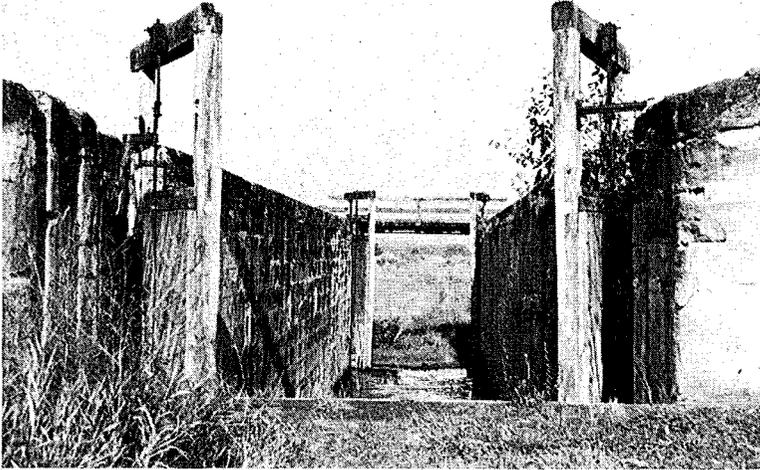


Abb. 2: Schleuse im Ludwig-Donau-Main-Kanal

Die älteste Art der Überwindung von Gefällstufen überhaupt ist die auf geneigter Ebene. Längsgeneigte Ebenen sind in der einfachsten Form schon um das Jahr 1000 v. Chr. an chinesischen Kanälen, und zwar mit Trockenförderung auf einer aus Bohlen hergestellten Rutschbahn, bekannt. Bei größerem Schiffskörper setzte man später den Kahn auf einen mit Rädern versehenen Wagen, der eine gesicherte Führung durch Schienen erhielt. Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür ist die von Nicolas Grollier de Servière beschriebene längsgeneigte Ebene aus dem 17. Jahrhundert (Abb. 4).

1788 wurden in Großbritannien die ersten zwei längsgeneigten Ebenen mit Trockenförderung zur Überwindung von Fallhöhen von 22 bzw. 63 m erbaut. Hier konnten jedoch nur sehr

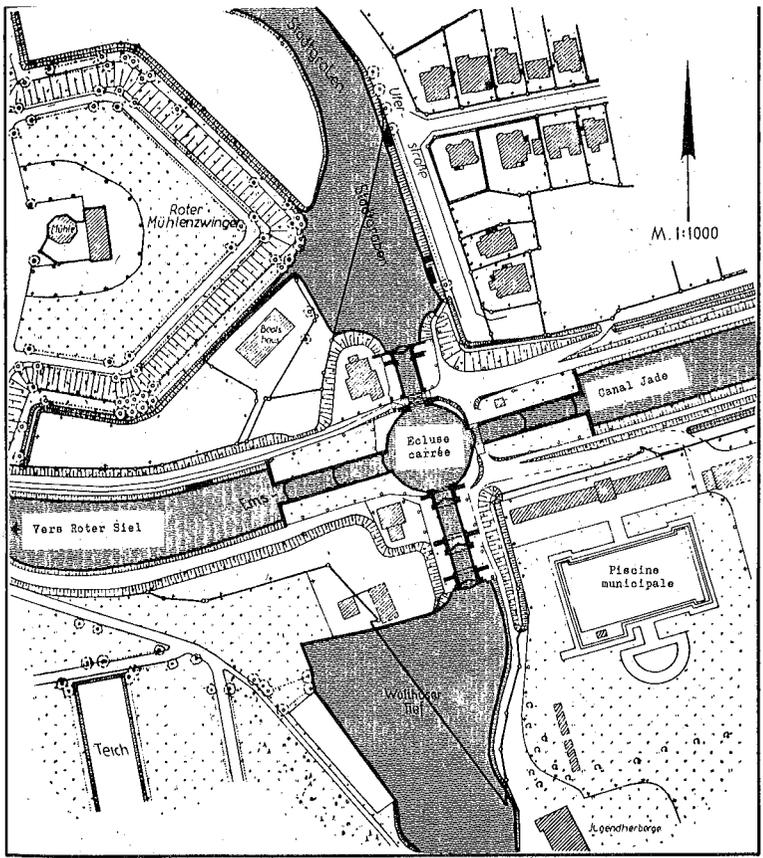
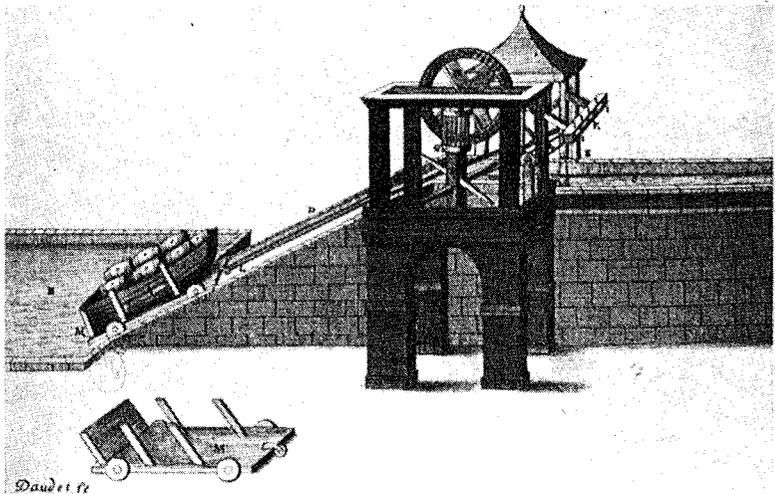


Abb. 3: Weichenschleuse (Kesselschleuse) im Ems-Jade-Kanal bei Emden



Document Bibliothèque Nationale, Paris

Abb. 4: (Text wie Bildunterschrift)

kleine Fahrzeuge von 5 bis 10 t befördert werden. Eine weitere geneigte Ebene entstand 1825 bis 1832 am Morris-Kanal (USA) mit Neigung von 1:10 und zwei hintereinander liegenden Fallhöhen von 11,0 und 30,4 m zur Beförderung von 35 t-Schiffen. Am Elbing-Oberländischen Kanal (Ostpreußen) wurden 1845 bis 1860 insgesamt fünf hintereinander liegende 1:12 geneigte Ebenen gebaut. Auf den sich als Gegenlast ausgleichenden Schiffswagen konnten 50 t-Schiffe die Fallhöhen von 13,0 m bis 25,0 m überwinden. Die erste geneigte Ebene mit Naßförderung wurde 1842 im Chard-Kanal (Großbritannien) in Betrieb genommen.

Das erste Senkrechthebwerk mit Naßförderung ist 1838 als Gegengewichtshebwerk im Grand-Western-Canal (Großbritannien) nach einem Entwurf, der bereits 1796 aufgestellt wurde, in Betrieb genommen worden. Das 1875 fertiggestellte Hebwerk in Anderton (Großbritannien) ist das erste nach einem Vorschlag von Edwin Clark erbaute Druckwasserhebwerk, das Vorbild war für zahlreiche weitere Anlagen dieses Typs. Das erste Hebwerk mit dem von Jebens 1887 aufgestellten und 1892 von Prüsmann weiterentwickelten Konstruktionsprinzip des Gewichtsausgleichs durch Schwimmer wurde in Henrichsburg (Deutschland) als Fünfschwimmerhebwerk 1899 in Betrieb genommen.

Zum Zeitpunkt des ersten Internationalen Binnenschiffahrtskongresses 1885 lagen also bereits die vielfältigsten Entwicklungen zur Überwindung von Fallhöhen vor. Dabei sind die Entwicklungen in den einzelnen Ländern aufgrund der jeweiligen topographischen Gegebenheiten und der Erfahrungen mit den verschiedenen Bauarten recht unterschiedlich verlaufen, was auch in den Berichten und Erörterungen auf den ersten Kongressen zum Ausdruck kommt.

3. Behandlung der Schleusen von geringer Fallhöhe bis zu den Anlagen zur Überwindung großer Höhen auf den Internationalen Schiffahrtskongressen

Bei der Durchsicht der Fragen und Mitteilungen sowie der zugehörigen Beschlüsse zeigt sich, daß bei den ersten Schiffahrtskongressen die generelle Erörterung der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten zur Überwindung von Gefällstufen im Vordergrund stand. Die dabei vorgetragenen weitblickenden und ideenreichen Überlegungen verdienen — auch wenn sie nicht in allen Fällen realisiert wurden — als Ingenieurleistungen noch heute unsere volle Anerkennung. In neuerer Zeit nimmt die Behandlung von Detailproblemen, besonders für Maßnahmen zur Leistungssteigerung sowie für die Erhöhung der Sicherheit beim Betrieb der Anlagen, einen immer weiteren Raum ein. Zu allen Zeiten spielte aber entsprechend dem Grundgedanken der Schiffahrtskongresse der Austausch von Erkenntnissen und Erfahrungen bei ausgeführten Anlagen in den Berichten und bei der Diskussion auf den Kongressen eine große Rolle und fand seinen Niederschlag in den jeweiligen Beschlüssen.

Die Entwicklung der technischen Möglichkeiten des Tiefbaus sowie des Stahlwasserbaus und Maschinenbaus in den vergangenen 100 Jahren spiegelt sich anschaulich in den Beschlüssen über die verschiedenen Systeme zur Überwindung der Gefällstufen wider. Hiermit zusammenhängend hat auch, wie die nachfolgenden Zitate zeigen werden, die Ansicht, was als „große Höhe“ anzusehen sei, eine Wandlung durchgemacht.

Auf dem I. Kongreß 1885 heißt es über die „Vorzüge der verschiedenen Schleusensysteme“ (Frage 9a):

„Der Kongreß ist der Ansicht:

1. daß die Einfachheit des Baues, die lange Erfahrung, die für ihre Verwendung spricht, ihre

...steine Sicherhaltung und im bequemsten Betrieb mit einem überan erhaltenden Personal, endlich die Möglichkeit, sie auch dann noch zu gebrauchen, wenn sie schon ein gewisses Alter erreicht haben, unbestreitbare Vorzüge der Kammerschleusen sind;

2. daß man zu den mechanischen Hilfsmitteln nur mit viel Zurückhaltung greifen sollte, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die mechanischen Apparate sind noch nicht erprobt, wenigstens nicht für Schiffe von 250 bis 300 t.

2. Bei den Hebewerken insbesondere scheinen die Schwierigkeiten des Baues die Grenze der Mittel zu erreichen, über die die Industrie gegenwärtig verfügt. In dieser Hinsicht sind wohl die geneigten Ebenen vorzuziehen, und es wäre interessant, wenn sie für die Schiffe von 250 bis 300 t angewendet würden.

3. Die Dauerhaftigkeit dieser Apparate ist noch unbekannt.

4. Ihre Handhabung erfordert ein besonderes Personal, das schwer zu überwachen und zu ergänzen ist.

5. Die geringste Beschädigung kann die Schifffahrt völlig zum Stillstand bringen.

6. Was die Vermehrung des Verkehrsumfanges betrifft, so wird der Vorteil, den die mechanischen Mittel gegenüber den Schleusentreppen besitzen, wesentlich abgeschwächt, wenn man zu zwei Reihen von Schleusen greift, die mit der Breitseite nebeneinander liegen."

und über den „größten zulässigen Schleusenfall" (Frage 9b):

„Der Kongreß ist der Meinung, daß die größte Fallhöhe in jedem Einzelfall durch die Natur des Bodens bestimmt wird, auf den man die Schleuse gründet. Für einen Untergrund, in den Einsickerungen zu befürchten sind, konnten Fallhöhen von 1,50 m bis 2,20 m in Holland ohne Schaden zugelassen werden. Bei anderen Geländearten haben Fallhöhen von mehr als 5 m, wie sie in Frankreich erreicht wurden, keine Unzuträglichkeiten ergeben, wenn der Wasserzufluß genügend war."

Der IX. Kongreß 1902 hat bei dem Thema „Überwindung großer Höhen" (1. Abteilung, Frage 1) entsprechend dem Vortrag des Generalberichterstatters von der Empfehlung einer bestimmten Lösung abgesehen, „da die Wahl der Mittel in jedem einzelnen Fall den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden müsse und im übrigen der Wettbewerb der verschiedenen Systeme in der Praxis zu erfolgen hat", und als Leitsätze beschlossen:

„1. Die Kammerschleusen bleiben die einfachsten und dauerhaftesten Einrichtungen zur Überwindung des Gefälles der Kanäle. Die Sparbecken ermöglichen eine beträchtliche Verminderung des Betriebswassers, ohne dabei die Schleusungsdauer übermäßig zu verlängern. Die Bestrebungen zur weiteren Verminderung des Betriebswassers sind zu fördern.

2. Bei außergewöhnlichen, auf kurzer Länge zu überwindenden Höhenunterschieden bilden doppelte Schleusentreppen ein geeignetes Mittel zur Bewältigung eines großen Verkehrs, sobald reichliche Wassermengen zur Verfügung stehen. Bei Wassermangel bilden lotrechte Hebewerke eine durch die Erfahrung bewährte Einrichtung.

3. Geneigte Ebenen wurden bis jetzt nur für kleine Schiffe angewendet, es sind aber äußerst sinnreiche Vorschläge für geneigte Ebenen zur Beförderung großer Schiffe gemacht worden. Der Kongreß empfiehlt, eine derartige geneigte Ebene sobald als möglich auszuführen und in Betrieb zu setzen."

Dem X. Kongreß 1905 lagen bei der Behandlung der „Systeme, die zum Ausgleich der großen Höhenunterschiede zwischen den Kanalhaltungen geeignet sind" (1. Abteilung, Frage 3) neben anderem, sehr umfangreichem Material die Ergebnisse eines 1903 von Österreich ver-

anstatteten Wettbewerb vor, bei dem nur die Überwindung eines Höhenunterschiedes von 37 m nahezu 200 Entwürfe eingereicht wurden. Der Kongreß empfahl:

„Die Kammerschleusen bleiben die einfachsten und kräftigsten Maschinen zur Überwindung der Gefälle von Kanälen. Die Spurbassins ermöglichen, den Wasserverbrauch der Kammerschleusen bedeutend zu vermindern, ohne die Dauer der Schleusungen zu sehr zu verlängern. Es erscheint angebracht, die Studien und Versuche, die den Zweck verfolgen, noch mehr diese Dauer und den Wasserverbrauch zu verringern, zu unterstützen; wenn der Wasserzufluß mangelhaft ist, so stellen die vertikalen Hebewerke eine Lösung dar, die praktisch erprobt ist. Der Wiener Wettbewerb ließ eine große Anzahl interessanter Ideen entstehen. Der Kongreß legt den größten Wert darauf, daß eine Anwendung im großen der Erfahrung, die allein als letzter Richter gelten kann, ermöglicht, sich über den praktischen Wert dieser Ideen auszusprechen, wobei die Durchgangsschnelligkeit der Schiffe, die Verkehrsdichte der Kanäle sowie die Sicherheit, die Regelmäßigkeit und die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu berücksichtigen sind.“

Der XVII. Kongreß 1949 kommt bei der Erörterung der „Möglichkeiten zur Überwindung großer Fallhöhen“ (1. Abteilung, Frage 2), nachdem von zwischenzeitlichen Kongressen wiederholt eine erneute Behandlung dieses Themas angeregt worden war, zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Für nicht außergewöhnliche Höhenunterschiede sind Hebewerke und Schrägaufzüge gegenüber Schleusen nur dann zu empfehlen und vorzuziehen, wenn es darum geht, großes Gefälle zu überwinden oder Wasser einzusparen.
2. Dort wo der Höhenunterschied auf einer kleinen Strecke beträchtlich ist, und besonders wenn nur beschränkt Wasser zur Verfügung steht, ist es wahrscheinlich, daß die Hebewerke oder die Schrägaufzüge wirtschaftlicher sind und es ermöglichen, im Falle eines starken Verkehrs bei der Durchfahrt Zeit zu gewinnen.
3. Wenn die Wahl auf Hebewerke und Schrägaufzüge beschränkt ist, sind die ersteren bei Schiffen mit größerer Tonnage vorzuziehen.
4. Man erreicht eine große Wassereinsparung bei Hebewerken und Schrägaufzügen gegenüber Schleusen, selbst wenn das Wasser als Überlast für den nach unten fahrenden Trog dient.“

Auf dem XIX. Kongreß 1957 wurden diese Empfehlungen durch folgende Zusammenfassung (1. Abteilung, Mitteilung 1) ergänzt:

1. The adoption of a lock or a lift depends on soil conditions, on the availability of water and on the requirements of navigation, irrigation and power generation.
2. It is always desirable to test on models alternative features of locks or lifts ensure smooth hydraulic and mechanical operation.
3. The number of steps should be as few as possible.
4. As the height increases, the capital cost of locks increases faster than that of lifts.
5. For a height of over 30 metres the advantage lies generally with lifts.
5. There is no practical limit to the height of lifts.“

Der XXI. Kongreß 1965 hat letztmalig den Fragenkomplex der „Bauwerke zur Überwindung großer Fallhöhen“ (1. Abteilung, Frage 2) in geschlossener Form mit folgenden Empfehlungen behandelt, die im wesentlichen auch heute nach 20 Jahren noch ihre Gültigkeit behalten haben:

1. With regard to the shortened time of travel of vessels and to the multi-purpose utilization of water, the heads to be overcome by navigation structures are increasing more and more.

2. Taking into account the technical development, we can distinguish among the navigation structures, low head structures up to 10 m very high head structures above 40 m. At present the conventional type of low lift navigation structure is a lock, and for very high-head navigation structures a ship-lift. For intermediate lift navigation structures, technical and economical factors determine the choice between the two types of structures.

3. As there are only a few ship-lifts in operation at present, it seems untimely to formulate any recommendations on different construction problems of ship-lifts. Consequently it is advisable to make studies particularly on the following problems:

- a) lifting of vessels with or without water;
- b) arrangements to provide for large waterlevel fluctuations in the connecting pools;
- c) permissible speeds and acceleration limits for operation of different types of ship-lifts;
- d) mechanisation for manoeuvring vessels into the chamber and their mooring;
- e) special arrangements necessary for vessels to enter and leave the chambers;
- f) the different types of mechanical equipment for the movement of ship-lifts;
- g) the arrangements for ship-lift operation at low air temperatures;
- h) safety measures to be taken.

These problems could be included in the agenda of the next Congress when studies and data of structures are available for new papers.

4. With a view to a better mutual understanding of investigations being carried out and with the aim of solving the most important problems connected with designing and constructing ship-lifts, it is desirable that P.I.A.N.C. should set up an International Commission to deal with ship-lift design.'

Basierte die Empfehlung für die wünschenswerten Schleusenabmessungen auf dem I. Kongreß 1885 (Frage 4) noch auf den seinerzeit auf den französischen Binnenwasserstraßen überwiegend vorhandenen Verhältnissen, so sprach sich der II. Kongreß 1886 (Frage 2) bereits im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeit von Dampfschiffen für

Drempeltiefen von 2,50 m

lichte Weiten von 7,00 m

nutzbare Längen von 57,50 m

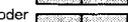
auf Kanälen und kanalisiertem Flüssen aus.

Wenngleich diese Frage durch die Klasseneinteilung der europäischen Wasserstraßen (Abb. 5) seit 1954 als geregelt angesehen werden konnte, wurde sie im Zusammenhang mit der zwischenzeitlich starken Zunahme der Schubschiffahrt auf dem XX. Kongreß 1961 (1. Abteilung, Frage 4) erneut aufgegriffen, und der XXI. Kongreß 1965 (1. Abteilung, Frage 3, Absatz 3) kam zu folgendem Schluß:

„It has been found that push tows need very little clearance when entering locks. A clearance of a few metres lengthwise has proved sufficient. The clearance in width should be a function of the width of the lock. For the standardized locks 12 m wide the clearance could be 0,50 m on either side of the push tow. If the push tows enter locks very carefully, which evidently might cause some delay, this last clearance might even be reduced to about 0,30 m.”

Aber nicht nur mit diesen grundsätzlichen Fragen haben sich die Schiffahrtskongresse befaßt, sondern sie haben auch ihr Augenmerk auf Detailprobleme gerichtet und im Rahmen von mehr als 17 Themen im Verlauf der bisherigen Kongresse wertvolle Hinweise und Empfehlungen entsprechend den jeweiligen technischen Möglichkeiten und betrieblichen Notwendigkeiten gegeben. In diesem Zusammenhang sind besonders der XIII. Kongreß 1923 (1. Abteilung, Frage 2), der XV. Kongreß 1931 (1. Abteilung, Frage 3), der XX. Kongreß 1961 sowie der XXII. Kongreß 1969 (1. Abteilung, Fragen 2 und 3) hervorzuheben, deren umfangreiche, richtungsweisende Beschlüsse hier wiederzugeben, leider in Anbetracht des knappen

Zuordnung von Schiffsgrößen zu Wasserstraßenklassen

Wasserstraßenklasse	Motorschiff					Schubleichter					Schubverband		
	Bezeichnung	Länge ¹⁾	Breite ¹⁾	Abladetiefe ²⁾	Tragfähigkeit bei der in Sp. 5 angegebenen Abladetiefe	Bezeichnung	Länge	Breite	Abladetiefe ²⁾	Tragfähigkeit bei der in Sp. 10 angegebenen Abladetiefe	Formation ¹⁾	Gesamtlänge ³⁾	
		m	m	m			m	m	m				m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
I	Penische	38,50	5,00	2,20	300								
II	Kempenaar	50,00	6,60	2,50	600								
III	Gustav Königs	67,00	8,20	2,50	1 000								
IV	Johann Welker	80,00	9,50	2,50	1 350	Europa I	70,00	9,50	2,50	1 240		(IV a)	90 - 105
	Europa II					76,50	11,40	1 660					
	Europa II a					76,50	11,40	1 520			(IV b)	172 - 185	
V	Großmotorschiff	bis 110,00 ¹⁾	bis 11,40 ¹⁾	bis 4,50 ²⁾	bis 4 500	wie Wasserstraßenklasse IV				wie Wasserstraßenklasse IV			
VI						Europa II		bis 3,50	bis 2 520		oder		bis 190
		Europa II a		bis 4,0	bis 2 940		oder		bis 270				
												bis 190	

¹⁾ Die zulässigen Abmessungen (Länge und Breite) der Fahrzeuge und Verbände sind für die einzelnen Wasserstraßen durch Polizeiverordnungen festgelegt.

²⁾ Die zulässige Abladetiefe ist bei staugeregelten Flüssen und Kanälen im allgemeinen ebenfalls durch Polizeiverordnungen festgelegt, im übrigen richtet sie sich nach den jeweiligen hydrologischen Verhältnissen.

³⁾ Die Schubboote sind nicht genormt. Für die Gesamtlänge der Schubverbände können daher nur Richtmaße angegeben werden.

Abb. 5: Zuordnung von Schiffsgrößen zu Wasserstraßenklassen

verfügbaren Raumes nicht möglich ist. Hier wurden hauptsächlich die Schleusentore, die bereits Gegenstand eines eigenen Themas auf dem VII. Kongreß 1898 (2. Abteilung, Frage 2) waren, die Füll- und Entleerungseinrichtungen mit ihren zugehörigen Verschlussorganen, die Gestaltung der Vorhäfen und Anordnung von Leitmolen — besonders zur leichteren Einfahrt von Schubverbänden — sowie Schleusenausrüstungen, die zu einer Erhöhung der Sicherheit des Betriebes und Beschleunigung der Schleusung beitragen können, behandelt.

Die Tatsache, daß seit 1969 auf jedem Kongreß die Fragen der Automatisierung des Betriebes und die Anwendungsmöglichkeiten der Elektronik behandelt wurden, macht die rasche technische Entwicklung gerade auf diesem Sektor deutlich, deren Ende sich heute noch gar nicht erahnen läßt. Da es auch künftig Aufgabe und Ziel der Schiffahrtskongresse bleiben muß, Entwicklungstendenzen auch auf dem Sektor des Baus und Betriebs von Anlagen zur Überwindung von Gefällstufen frühzeitig zu erkennen und richtungswisend zu beeinflussen sei in diesem Sinne abschließend auszugsweise die Empfehlung des XXV. Kongresses 1981 (1. Abteilung, Frage 2) wiedergegeben:

„Ständige Forschung auf allen Sektoren des Systems der Wasserstraßen ist erforderlich, um mit der steigenden Nachfrage Schritt halten zu können. Die Übermittlung von Forschungsvorhaben an das Ständige Technische Komitee des Verbandes würde Doppelarbeit verhindern und sicherstellen, daß über durchgeführte Forschungsprojekte von allgemeinem Interesse im Verbands-Bulletin oder in gleichartigen Schriften berichtet würde.“

4. Entwicklung im Schleusenbau

So vielfältig sich die Bauformen der Schiffe über Jahrhunderte entwickelten, so vielfältig waren auch die Formen und Abmessungen der Schleusen, wobei hier zunächst die nutzbare Kammerfläche betrachtet wird. Wie auch heute noch, bestimmten primär die Schiffstypen (Abb. 5) die Schleusenabmessungen. Daneben begrenzten die technischen Möglichkeiten die Breite der Torkonstruktionen und damit die Breite des zu schleusenden Schiffes.

Noch heute sind selbst im nationalen Bereich und sogar innerhalb einer Wasserstraße Schleusen mit unterschiedlichsten Abmessungen anzutreffen. Schließlich entwickelte sich für europäische Wasserstraßen, vor allem an Kanälen und vielen staugeregelten Flüssen, die heute übliche Kammerbreite von 12 m, an größeren Flüssen, wie z.B. Rhein, Donau und Elbe auch bis 24 m.

Hinsichtlich der Länge der Schleusenkammern ist es auch heute noch wesentlich schwieriger, eine Vereinheitlichung zu erkennen. Die Ursache hierfür liegt, abgesehen von historischen Entwicklungen, oft darin, daß auch für Schleusen innerhalb einer Wasserstraße nicht die gleiche Leistungsfähigkeit zu fordern ist. Diese wird jedoch von der Schleusenlänge erheblich beeinflußt. Von mindestens gleichrangigem Einfluß auf die Leistungsfähigkeit ist die weiter unten erwähnte Drempeltiefe, die jedoch innerhalb einer Wasserstraße nicht variiert werden sollte. Für die europäische Wasserstraßenklasse IV werden jedoch überwiegend Schleusen mit einer nutzbaren Kammerlänge von 190 m gebaut, so daß sie von Schubverbänden mit zwei Leichtern des Types „Europa II“ genutzt werden können. Neben Schleusenbreite und -länge wird auch die Drempeltiefe von den Schiffsabmessungen bestimmt. Hier ging die Entwicklung in Richtung einer Vergrößerung der Wassertiefe zwischen Schiffsunterkante und Kammersohle. Hierdurch wird der Einfahrtwiderstand erheblich vermindert, weil unter dem Schiff eine größere Querschnittsfläche für den Rückstrom des verdrängten Wassers vorhanden ist. Dies ist bei Schiffen, die die Schleusenbreite sehr weitgehend nutzen, von besonderer Bedeutung. Beispielsweise verbleibt bei Einfahrt eines Schubverbandes „Europa II“

mit 11,40 m Breite bei einer Kammerbreite von 12 m nur ein seitlicher Zwischenraum von insgesamt 0,60 m (vgl. den unter Abschnitt 3 zitierten Beschluß des XXI. Kongresses 1965 (1. Abteilung, Frage 3).

Parallel zu dieser Entwicklung vollzog sich eine stetige Vergrößerung der Fallhöhen der Schleusen. Hieraus folgt zunächst für eine vorgesehene Ausbaustrecke die Verringerung der Anzahl der Staustufen und damit die Verlängerung der einzelnen Haltungen. Die Geschichte des z.Z. laufenden Ausbaus der Saar zwischen Saarbrücken und der Mosel auf rd. 90 km Länge bei einer Höhendifferenz von 55 m beweist dies beispielhaft:

Entwurfjahr	Anzahl der Staustufen	Abmessungen der Schleusen (m)
1903	20	85 x 10,6
1921	9	110 x 12
1971	8	190 x 12
1974*)	6	190 x 12

*) liegt der Ausführung zugrunde.

Ein weiteres Beispiel für diese Entwicklung bildet die Schleusengruppe Münster am Dortmund-Ems-Kanal.

Diese Entwicklung ist sowohl aus der Sicht der Schifffahrt als auch des Betriebes zu begründen, weil hiermit die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße erhöht wird bei gleichzeitiger Senkung der Kosten.

Die heute möglichen großen Fallhöhen von Schleusen wurden nur realisierbar durch die in den vergangenen 100 Jahren vollzogene technische Entwicklung, vor allem in den Bereichen des konstruktiven Ingenieurbaus sowie der Hydraulik und des wasserbaulichen Versuchswesens. Von der Schleuse in Mauerwerksbauweise, deren Tore überwiegend als Stemmtore mit hierin eingebauten Füll- bzw. Entleerungsschützen einfachster Art ausgebildet waren, führte die Entwicklung zur Stahlbetonkonstruktion mit einem in die Schleusensole integrierten Füll- und Entleerungssystem. Während früher bei den kleinen Schleusen mit Fallhöhen von nur wenigen Metern trotz der einfachen Füllrichtungen keine nennenswerten Probleme entstehen konnten, war mit steigenden Fallhöhen dem Füllsystem erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Besonders bei den heute möglichen Schleusen für große Fallhöhen müssen diese Systeme vorher am Modell untersucht und auf den Einzelfall abgestimmt werden. Hierbei standen folgende Forderungen im Vordergrund:

- geringe Turbulenzen in der Kammer während des Füllens oder Entleerens zur Gewährleistung einer ruhigen Schiffslage und somit geringer Trossenzugkräfte
- kurze Füll- und Entleerungszeiten
- geringe Längs- und Querströmungen in den Vorhäfen (Vermeidung größeren Schwalles oder Sunkes).

Es ist bemerkenswert, daß zum Erreichen dieser Ziele in Europa und in Nordamerika sehr verschiedene Wege beschritten wurden. Dies mag vor allem daran gelegen haben, daß in den USA aufgrund der örtlichen Gegebenheiten schon frühzeitig Schleusen mit wesentlich größeren Abmessungen und Fallhöhen ausgeführt werden mußten. So wurde bereits im Jahre 1881 beim Bau der Schleusen am Sault St. Marie, US-Bundesstaat Michigan, ein in der Kammersole angeordnetes Füllsystem ausgeführt. Dieses „Grundlaufsystem“ bestand aus einem in Kammerachse verlaufenden Längskanal mit insgesamt 58 Deckenöffnungen, die gleichmäßig

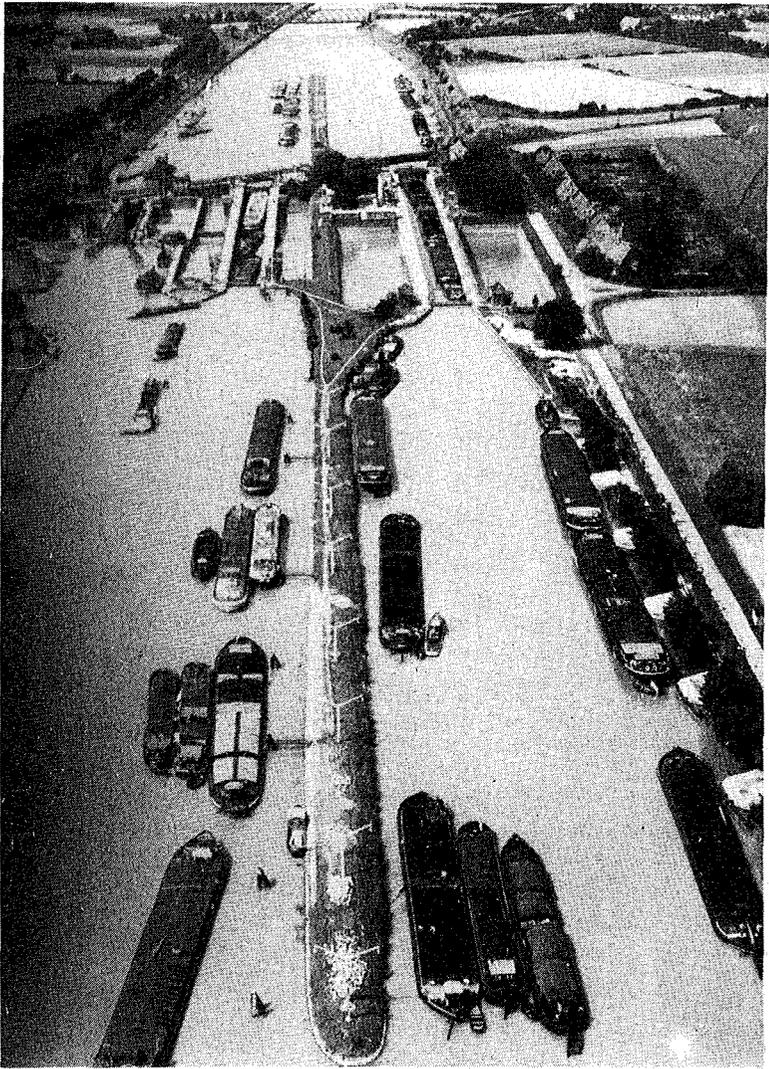


Abb. 6: Schleusengruppe Münster (Dortmund-Ems-Kanal), Deutschland, gebaut 1899 (67 x 8,6 m), 1913 (165 x 10,0 m), 1926 (225 x 12,0 m)

über die rd. 150 m lange Kammer verteilt waren. Der Boden der im übrigen auf Fels gegründeten Schleuse wurde wegen der Herstellung des Füllsystems als Holzbohlenbelag ausgeführt. Die Schleuse war 24 m breit bei einer Bauhöhe der Kammerwände von 12 m. In etwas abgewandelter Form kam dieses Füllsystem in Massivbauweise später beim Bau der Schleusen des Panama-Kanals zur Anwendung.

An dem Grundgedanken, den Füllwasserstrom gleichmäßig über die Kammer zu verteilen, um somit auch bei größeren Zu- oder Abflüssen eine möglichst ruhige Lage des Schiffes zu gewährleisten, wurde bei allen nachfolgenden Varianten und Weiterentwicklungen der Füllsysteme von Schleusen festgehalten. Diese „USA-Füllsysteme“ wurden weltweit verbreitetes

Vorbild für Schleusen mit größeren Fallhöhen. Hierüber wurde von den USA auf dem XIX. Kongreß 1957 (1. Abteilung, Mitteilung 1) und auf dem XXI. Kongreß 1965 (1. Abteilung, Frage 2) ausführlich berichtet.

Einige markante Bauwerke im Zuge dieser Entwicklung von Füllsystemen für Flußschleusen seien hier genannt:

— St. Pierre (Rhone-Staustufe Donzère-Mondragon), Frankreich. Fallhöhe 27,85 m, Nutzlänge 195 m, Breite 12 m. Die Füllung erfolgt über ein sehr verzweigtes Grundlaufsystem mit tiefliegendem zentralen Hauptkanal, dessen Zu- und Abflußöffnungen in Kammermitte liegen.

— Mac Nary (Columbia-River), USA. Fallhöhe 27,36 m, Nutzlänge 220 m, Breite 28 m. Die Füllung der Kammer erfolgt über beidseitig tief in den Kammerwänden liegende Längskanäle von je 15 m² Querschnitt. Von diesem zweigen im mittleren Drittel der Kammer wechselseitig insgesamt 14 mit Seitenöffnungen versehene Querkäle ab. Bei einer Füllzeit von 16 min. beträgt die mittlere Steiggeschwindigkeit 1,75 m/ min.

— Ice Harbour (Snake River), USA.

Fallhöhe 32 m, Nutzlänge 206 m, Breite 26 m. Das Füllsystem ist dem der Mac-Nary-Schleuse ähnlich. Die Füllung erfolgt gleichfalls über beidseitig in den Kammerwänden tiefliegend angeordnete Längskanäle, von denen etwa in den Dreittelpunkten der Kammer jeweils 5 einseitig angeschlossene Stichkanäle mit Seitenöffnungen abzweigen. Die Füllzeit der Schleuse beträgt 11,5 min, was einer mittleren Steiggeschwindigkeit von 2,8 m/ min entspricht.

Dieses Füllsystem wurde in einer abgewandelten, für Sparschleusen geeigneten Form bei der Schleuse Uelzen im Elbe-Seitenkanal, Deutschland, (Hubhöhe 23 m) ausgeführt.

— Cordell Hull (Cumberland River), USA.

Fallhöhe 18 m, Nutzlänge 137 m, Breite 26 m. Das Füllsystem besteht aus beidseitig tiefliegend in den Kammerwänden angeordneten Längskanälen, von denen im mittleren Bereich der Kammer auf jeder Seite 216 Fülldüsen, in 3 Lagen übereinander angeordnet, abzweigen. Das Füllsystem wurde von der Tennessee Valley Authority (TVA) entwickelt. Es ist auch unter der Bezeichnung „Multiport-System“ in der Fachwelt bekannt. Dieses Füllsystem wurde in der Bundesrepublik Deutschland in etwas abgewandelter Form u.a. bei der Doppelschleuse Iffezheim (Rhein) — Fallhöhe 12,5 m, Nutzlänge 270 m, Breite 24 m — und bei den Schleusen im Zuge des noch laufenden Ausbaus der Saar angewandt.

— Carapatello (Douro), Portugal.

Fallhöhe 34,50 m, Nutzlänge 85 m, Breite 12,10 m. Auch dieses Füllsystem wurde nach dem Prinzip von Ice Harbour entwickelt. Die Füllung erfolgt über 12 Füllbatterien und dauert 13 min. Die mittlere Steiggeschwindigkeit beträgt 2,65 m/ min.

— Ust Kamenogorsk (Irtisch), UdSSR.

Das Bauwerk hat mit 42 m die bisher größte bekannte Fallhöhe einer Schleuse. Die 18 m breite Kammer wird über ein Grundlaufsystem gefüllt. Die Füllzeit beträgt 25 min, die mittlere Steiggeschwindigkeit 1,7 m/ min.

Abweichend von der vor allem in den USA vorangetriebenen Entwicklung der vorstehend beschriebenen Füllsysteme, wurde in Europa, von Ausnahmefällen abgesehen, lange Zeit ein anderer Weg beschritten. Neben der weiterentwickelten Füllung und Entleerung mit in den Toren angeordneten Schützen, kamen vor allem sehr häufig die kurzen Torumläufe zur Anwendung. Bei kleineren Fallhöhen wurden hiermit auch befriedigende Verhältnisse geschaffen. Noch heute sind zahlreiche Schleusen mit derartigen Einrichtungen im Betrieb. In den zwanziger Jahren wurde in Deutschland der Gedanke der Schleusenfüllung ohne Umläufe erneut aufgegriffen. Das hieraus entwickelte, unter dem Namen „Burkhardt'sches Füllsystem“

stem" bekannte System brachte einen bedeutsamen Fortschritt. Der Grundgedanke dabei war, die Schleusentore gleichzeitig als Füll- oder Entleerungsorgan heranzuziehen, aber hierbei das Wasser nicht frei ein- oder ausströmen zu lassen, sondern zur Energieumwandlung Prallwände am Oberhaupt und Tosbecken am Unterhaupt anzuordnen. Das Prinzip setzte Torkonstruktionen voraus, die auch unter Wasserdruck geöffnet werden konnten. Es setzte daher eine rasante Entwicklung derartiger Torsysteme ein, worunter Meisterwerke des Stahlwasserbaus und der Antriebstechnik zu finden waren. Genannt seien hier nur die in der Folgezeit ausgeführten Hubtore, Senktore, Hubsenktore, Hubkipptore, Hubdrehtore, Klapptore usw. Bei dem zur Schiffsahrtsstraße ausgebauten Neckar sind beispielsweise zahlreiche dieser Systeme noch heute in Betrieb. Sie haben sich insgesamt bewährt, erfordern aber wegen der zahlreichen beweglichen Teile mitunter einen größeren Unterhaltungsaufwand. Vor allem am Oberhaupt von Schleusen, also zur Kammerfüllung, wird das „System Burkhardt" noch heute oft angewandt. So z.B. auch bei den z.Z. im Bau befindlichen Saarschleusen, deren Overtore als Drehsegmente ausgebildet werden und neben der Funktion als Füllorgan auch die Hochwasserableitung durch die Schleusen ermöglichen (Abb. 7).

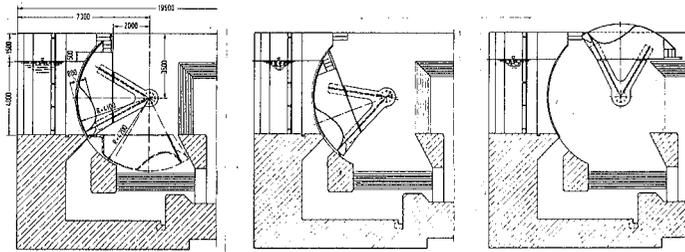


Abb. 7: Overtor der Saarschleuse, Deutschland
a) Schließstellung
b) Füllstellung
c) Reparaturstellung

In die bisherigen Betrachtungen ist der Wasserverbrauch der Schleusen nicht einbezogen worden. Er ist bei den Abflüssen in großen Strömen nicht von Bedeutung, abgesehen vom Verlust an Energie bei Wasserkraftnutzung. Bei Flüssen mit geringen Abflüssen und bei großen Fallhöhen sowie in besonderem Maße bei Kanälen spielt der Wasserverbrauch jedoch eine erhebliche Rolle und kann sogar zum Kriterium der Wirtschaftlichkeit einer Fallhöhe werden.

Diese Gesichtspunkte führten sehr bald zur Entwicklung der Sparschleusen. Hierdurch wurde es möglich, den Wasserverbrauch erheblich zu reduzieren und, falls nur unzureichender oder gar kein Speisungszufluß vorhanden war, Rückpumpkosten zu sparen. In Deutschland kamen zunächst vor allem beim Bau des Mittellandkanals Sparschleusen beachtlicher Dimensionierung zur Ausführung, die außergewöhnliche Anforderungen hinsichtlich der hydraulischen und konstruktiven Durchbildung stellten. Genannt sei hier die 1915 erbaute Schachtschleuse Minden zwischen Mittellandkanal und Weser mit einer Fallhöhe von 14,68 m, Nutzlänge 82 m, Breite 10 m. Sie hat insgesamt 16 Wasserspeicher, die in 4 Stockwerken der verbreiterten Schleusenmauern angeordnet sind. Die Wasserersparnis beträgt 71% (Abb. 8a und b).

Sparschleusen mit wesentlich größeren Fallhöhen entstanden in jüngerer Zeit am Main-Donau-Kanal, Deutschland. Alle Schleusen haben nutzbare Kammerlängen von 190 m und eine Breite von 12 m. Die hohen Schachtschleusen, z.B. Erlangen und Kriegenbrunn mit je 18,30 m Fallhöhe sowie die 3 höchsten Schleusen Leerstetten, Eckersmühlen und Hiepolstein

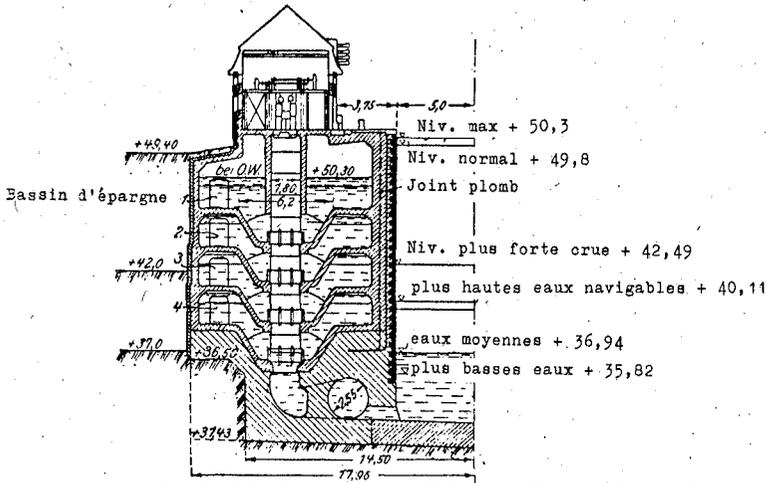


Abb. 8a: Anordnung der Speicherkammern der Schachtschleuse Minden (Mittellandkanal), Deutschland

mit je 24,67 m Fallhöhe, haben jeweils 3 offene Sparbecken, womit eine Wasserersparnis von rd. 60% erzielt wird. Die Füllung und Entleerung der Kammer erfolgt über ein bei allen Schleusen gleichartiges Grundlaufsystem. Die Füllzeit beträgt bei der Schleuse Erlangen rd. 17 min, die mittlere Steiggeschwindigkeit rd. 1,1 m/ min.

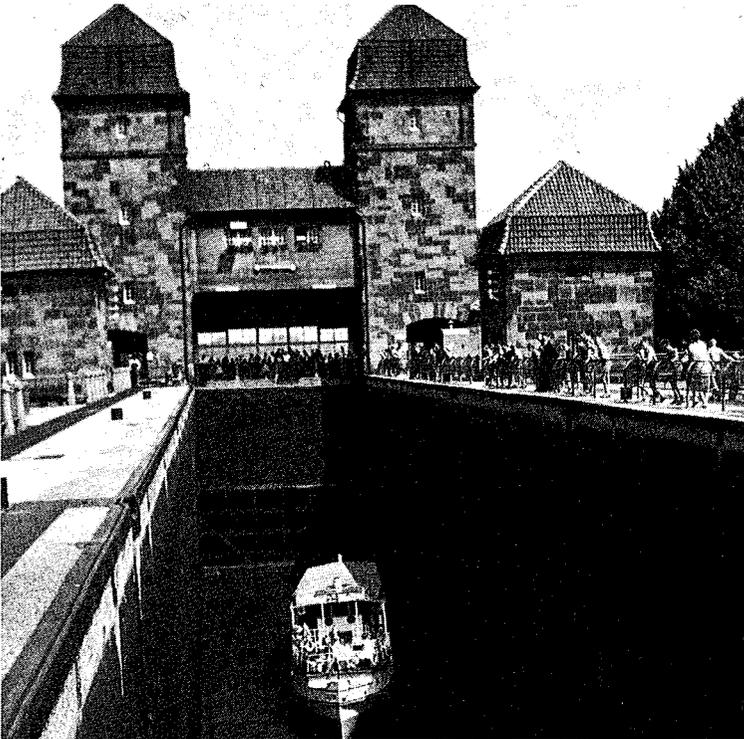


Abb. 8b: Blick in die Schachtschleuse Minden

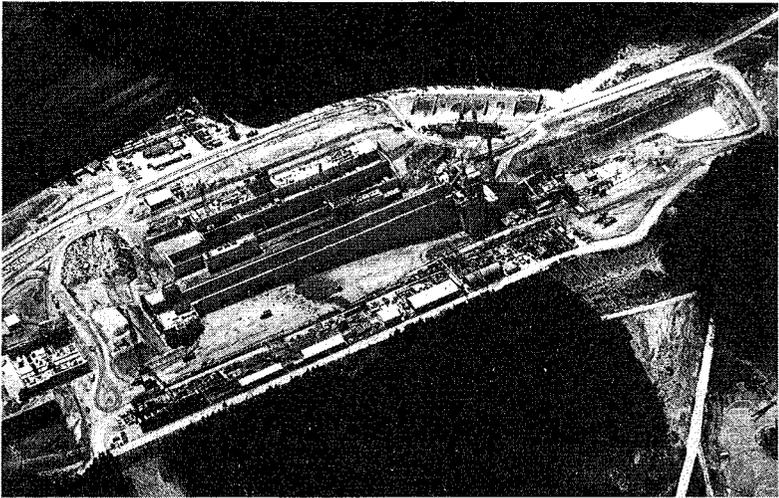


Abb. 9: Sparschleuse Eckersmühlen (Main-Donau-Kanal), Deutschland, Bauzustand Juni 1984

Von den neueren Sparschleusen mit großer Fallhöhe sei schließlich noch die Schachtschleuse Uelzen im Elbe-Seitenkanal mit 23 m Fallhöhe erwähnt. Sie hat 3 offene, terrassenförmig angeordnete Sparbecken, womit eine Wasserersparnis von 60% erreicht wird. Wie bereits erwähnt, wurde hierfür das Füllsystem der Ice-Harbour-Schleuse in Modellversuchen bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, den Anforderungen einer Sparschleuse angepaßt. Hierfür wurde unter der Kammersohle eine 8 m breite und 3 m hohe Druckkammer angeordnet, in die die Längskanäle und die Sparbeckenleitungen einmünden. Die eigentlichen jeweils 5strängigen Füllbatterien sind etwa in den Viertelspunkten der Kammer angeordnet. Die Füllzeit der Kammer beträgt rd. 12 min, die mittlere Steiggeschwindigkeit rd. 1,9 m/min.

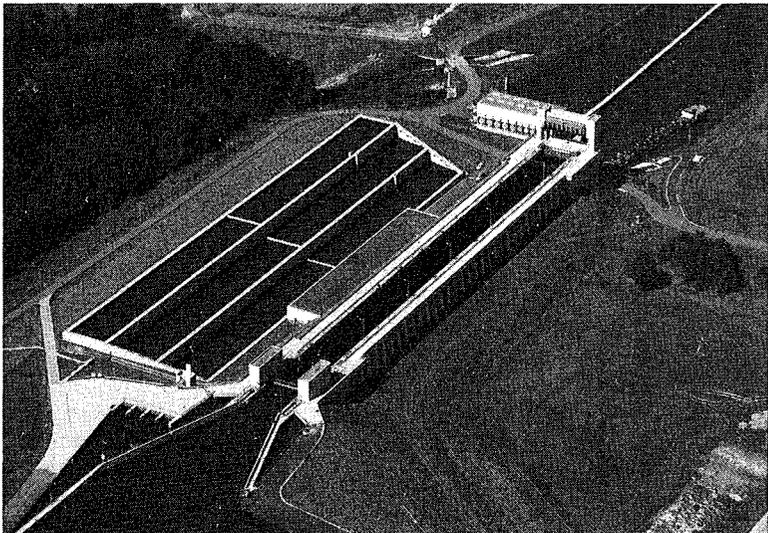


Abb. 10a: Schleuse Uelzen (Elbe-Seitenkanal), Deutschland, Gesamtübersicht

Bei der Entwicklung der Schleusentore ist bemerkenswert, daß das meist verwendete Tor nach wie vor das Stemmator ist, insbesondere als Untertor. Bei Schachtschleusen dominiert hier das Hubtor. Bei den Obertoren ist die Konstruktionsvielfalt größer, jedoch ist auch hier ein Trend zu bevorzugten Typen erkennbar. Das sind das Stemmator, das Hubsenktor und das Segmenttor. Insgesamt ist im Stahlwasserbau zu beobachten, daß die mechanischen Antriebe in zunehmendem Maße von ölhydraulischen Antrieben verdrängt werden.

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen werden künftig sicherlich öfter als bisher Schleusen zur Hochwasserableitung herangezogen. Hierdurch wird es möglich, bei einer Staustufe den Bemessungsabfluß anteilig dem Wehr und der Schleuse zuzuweisen, wodurch gegebenenfalls eine Verringerung der Wehrbreite möglich wird, was auch einen geringeren Eingriff in die Landschaft zur Folge hat. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Schleuse für diesen Fall im Modell untersucht wird. Detailuntersuchungen des Obertores sind unumgänglich. Die Verankerungen und Verriegelungen des Untertores sind für diesen Lastfall besonders zu bemessen, da hier in der Vergangenheit häufig Schäden aufgetreten sind.

Die Tendenz zu Schleusen mit größeren Fallhöhen, also zur Verminderung der Schleusen und Verlängerung der Haltungen, dient insgesamt auch der Erhöhung der Leistungsfähigkeit und der Sicherheit der Wasserstraßen. Zu diesem Thema wurde im Rahmen des XXV. Kongresses 1981 in der 1. Abteilung, Frage 2, berichtet. Die hier angesprochenen Fragen berühren die Ausrüstung der Schleusen und das Erleichtern der Einfahrt in die Schleusen durch visuelle Einfahrtshilfen. So wurde die Ausrüstung von höheren Schleusen mit Schwimmpollern inzwischen zum technischen Standard, wobei die Bemessung für 200 kN Trossenzug auch die Benutzung als Bremspoller ermöglicht. Visuelle Einfahrtshilfen zur Markierung der Schleusenachse können vor allem für Leerfahrzeuge und lange Schubverbände von Nutzen sein. Hierdurch werden das zentrische Einfahren in die Schleusenkammer erleichtert und die Havariegefahr sowie Beschädigungen des Bauwerkes vermindert.

Im Zusammenhang mit der Erleichterung der Einfahrt in die Schleusen kommt auch der Gestaltung der Leitwerke besondere Bedeutung zu. Hier ist eine Abkehr von den früher meist mit einer Neigung zur Einfahrtsachse von 1:4 bis 1:5 ausgeführten, relativ kurzen Leitwerken zu erkennen. Die Schifffahrt gibt heute überwiegend den gradlinigen, einseitig in Verlängerung der Kammerwandflucht verlaufenden Leitmolten den Vorzug. Sie erleichtern, auch durch die optische Führung, das zentrische Einfahren in die Schleusenkammer. Die Steuerung der Schleusungsvorgänge hat sich von der früher üblichen örtlichen Steuerung der Tore und Umlaufverschlüsse zur Zentralsteuerung entwickelt. Hierbei laufen alle für einen Schleusungsvorgang erforderlichen Tor- und Schützbewegungen nach Betätigung des Tasters im Steuerpult programmgesteuert ab. Logische Folgeschaltungen verhindern Fehlbedienungen, auch bei in Ausnahmefällen erforderlicher örtlicher Steuerung. Sonderprogramme ermöglichen auch die Zentralsteuerung bei Störfällen, z.B. einseitiger Ausfall eines Längskanalverschlusses. Durch die Zentralsteuerung ist es heute möglich, eine Schleuse von nur einem Mann bedienen zu lassen. Hierdurch können Probleme hinsichtlich der Beobachtung des Schleusungsvorganges entstehen. Fernsehkameras können hier hilfreich sein, jedoch sollte die Anzahl der Monitore in einem Steuerstand auf das notwendige Maß beschränkt werden. Eingegangen ist bei der Planung des Steuerstandes den Sichtverhältnissen auf die Schleusenanlage mit den Vorhäfen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

5. Entwicklungen beim Bau von Hebewerken

Über die technischen Entwicklungen und wirtschaftlichen Vorteile der Überwindung großer Fallhöhen durch Senkrechtbewerke ist auf vielen Internationalen Schifffahrtkongres-

sen berichtet worden. Wie im Abschnitt 3 bereits zitiert, ist auf dem IX. Kongreß 1902 der Beschluß gefaßt worden, daß lotrechte Hebewerke bei Wassermangel eine durch Erfahrung bewährte Einrichtung zur Überwindung großer Fallhöhen sind. Dieser Beschluß, der auf den X. Kongreß 1905 nochmals bestätigt wurde, ist gefaßt worden, auch wenn zu diesem Zeitpunkt ausreichende Erfahrungen nur über Druckwasserhebewerke vorlagen, denn das erste Schwimmerhebewerk war erst 1899 in Henrichenburg im Dortmund-Ems-Kanal, Deutschland, in Betrieb genommen worden. Die folgende Entwicklung mit dem Bau weiterer Senkrechthebewerke in Houdeng — Aimeries, Bracquenies und Thieu im Canal du Centre, Belgien, und in Niederfinow, Rothensee, Henrichenburg und Lüneburg, alle Deutschland, bestätigt im Nachhinein diesen Beschluß eindrucksvoll.

Der technische und konstruktive Fortschritt beim Bau von Senkrechthebewerken ist besonders durch die ständig größeren Trogabmessungen als Folge der Entwicklung der Abmessungen der Binnenschiffe bestimmt worden. Einen Überblick über diese Entwicklung gibt die Tab. 1.

Die Troglänge ist von 40 m (Les Fontinettes 1888) auf 100 m (Lüneburg 1975) angewachsen, und die Trogbreite hat sich auf 12 m verdoppelt. Die Wassertiefe ist im gleichen Zeitraum von 2,10 m auf 3,50 m größer geworden. Diese Entwicklung wurde bestimmt durch die Erhöhung der Tragfähigkeit der Regelschiffe von 300 t auf 1.350 t. Mit den gestiegenen Abmessungen des Troges ist die zu bewegende Last auf das 7,5fache angewachsen. Die Bauart der neuen Hebewerke ist hierdurch mehr beeinflusst worden als durch die größeren Fallhöhen. Die bisher größte Fallhöhe wird mit 38 m durch das als Gegengewichtshebewerk mit zwei voneinander unabhängigen Trögen in Lüneburg überwunden. Die Entwicklung ist jedoch hier nicht stehengeblieben. Derzeit ist in Strépy-Thieu im Canal du Centre, Belgien, ein Gegengewichtshebewerk mit einer Fallhöhe von 73 m für das 1.350 t-Schiff im Bau. Auch in der Volksrepublik China werden z.Z. Untersuchungen für den Bau von Hebewerken mit Fallhöhen bis zu 7 m angestellt.

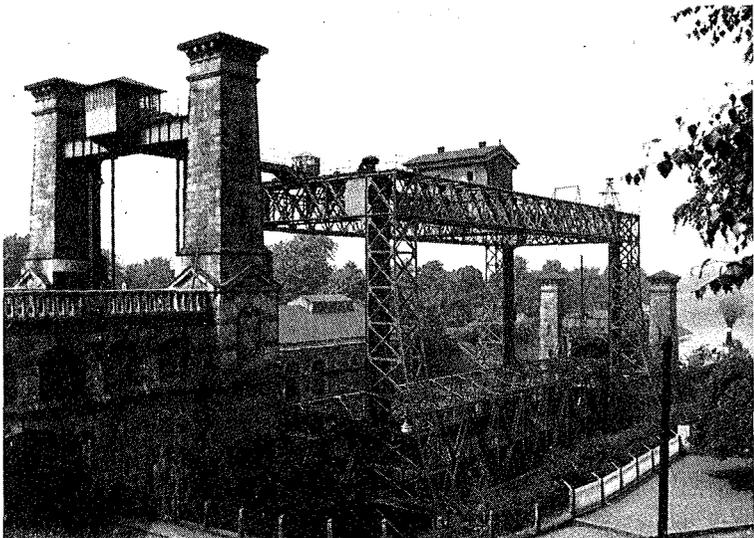


Abb. 11a: Fünfschwimmerhebewerk Henrichenburg (1899), Blick vom Oberwasser

Ausgeführte Schiffshebewerke mit senkrechtem Hub (Naßförderung)

Ort/Land	Wasserstraße	Jahr der Inbetriebnahme	Bauart	Fallhöhe (m)	nutzbare Trogabmessungen			Gesamtgewicht des Troges *) (t)	Tragfähigkeit des Regelschiffes (t)
					Länge (m)	Breite (m)	Wassertiefe (m)		
(Großbritannien)	Grand-Western-Canal	1838	2 Holztröge. Tröge dienen einander als Gegengewichte. Sie hängen an 3 Gelenk Ketten, die über Rollen geführt werden.	14,0	9,1	2,2	1,0	—	8
Anderton (Großbritannien)	Verbindung Weaver mit Trent-Kanal	1875	Druckwasserhebewerk, 1906 als Gegengewichtshebewerk umgebaut. Unabhängiger Gewichtsausgleich der beiden Tröge durch Gegengewichte an Drahtseilen.	15,10	22,85	4,17	1,53	250	100
Les Fontinettes (Frankreich)	Kanal von Neufossée	1888	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	13,10	40,35	5,60	2,10	800	300
La Louvière (Belgien)	Canal du Centre	1888	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	15,40	43,0	5,80	2,40	1050	300
Henrichenburg (Deutschland)	Dortmund-Ems-Kanal	1899	Fünfschwimmerhebewerk mit 1 Trog	16,00	68,0	8,60	2,50	3100	750
Peterborough (Kanada)	Trent-Kanal	1904	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	19,81	42,67	10,06	2,44	1714	800
Kirkfield (Kanada)	Trent-Kanal	1907	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	15,24	42,67	10,06	2,44	1714	800
Houdeng-Aimeries (Belgien)	Canal du Centre	1917	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	16,93	43,0	5,80	2,40	1570	300
Bracquénies (Belgien)	Canal du Centre	1917	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	16,93	43,0	5,80	2,40	1570	300
Thieu (Belgien)	Canal du Centre	1917	Druckwasserhebewerk mit 2 Trögen	16,93	43,0	5,80	2,40	1570	300
Niederfinow (Deutschland)	Großschiffahrtsweg Berlin-Stettin	1934	Gegengewichtshebewerk mit 1 Trog	36,0	85,0	12,0	2,50	4300	1000
Rothensee (Deutschland)	Mittellandkanal	1938	Zweischwimmerhebewerk mit 1 Trog	18,67	85,0	12,0	2,50	5000	1000
Henrichenburg/Waltrop (Deutschland)	Dortmund-Ems-Kanal	1962	Zweischwimmerhebewerk mit 1 Trog	14,50	90,0	12,0	3,00	5000	1350
Lüneburg (Deutschland)	Elbe-Seitenkanal	1975	2 Gegengewichtshebewerke mit je 1 Trog	38,0	100,0	12,0	3,50	6000	1350

*einschließlich Druckkolben bzw. Schwimmer

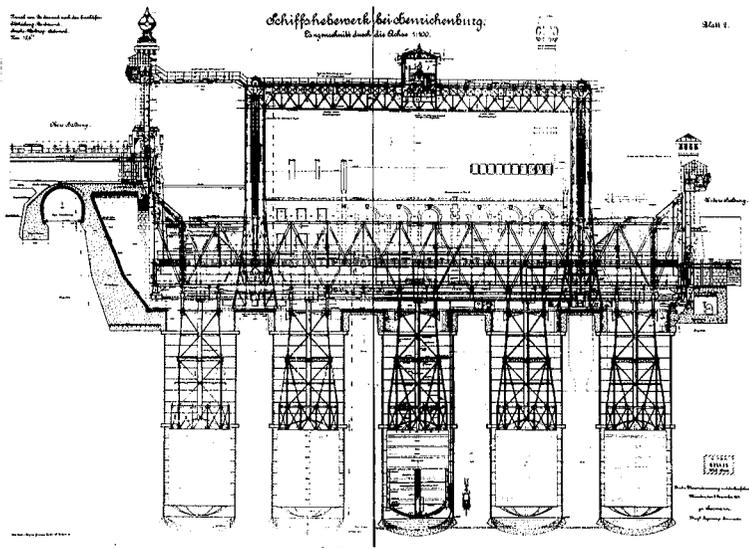


Abb. 11b: Längsschnitt

Bis zum Bau der Hebewerke im Canal du Centre (1917) sind mit der Ausnahme des Schwimmerhebewerkes Henrichenburg (1899) nur Druckwasserhebewerke gebaut worden. Durch die erforderlichen größeren Abmessungen des Troges ist diese Bauart danach nicht mehr zur Anwendung gekommen. In der Folgezeit sind Schwimmerhebewerke (Rothensee und Henrichenburg/ Waltrop) beziehungsweise Gegengewichtshebewerke (Niederfinow und Lüneburg) erstellt worden. Mit der Entwicklung dieser Hebewerke sind gegenüber den Druckwasserhebewerken durch die Trennung von Antrieb und Führung sowie durch die Sicherung des Troges bei Ungleichgewicht des Systems erhebliche Verbesserungen im Betrieb erreicht worden. Zum Gewichtsausgleich dienen Schwimmer oder Gegengewichte, so daß hierfür kein Zwillingsstrog notwendig ist. Hierdurch ist eine bessere Anpassung des Betriebes an den Schiffsverkehr gegeben.

Die Wirtschaftlichkeit und Grenze der technischen Durchführbarkeit der Schwimmerhebewerke wurde durch die hohen Baukosten für die Schwimmschächte — insbesondere bei schlechten Baugrundverhältnissen — bestimmt. Bei den großen Fallhöhen in Niederfinow und Lüneburg fiel deshalb unter Berücksichtigung aller baulichen und betrieblichen Belange die Wahl auf das Gegengewichtshebewerk.

Bei dieser Bauart wird das Gewicht des wassergefüllten Troges durch Gegengewichte, die an Seilen geführt sind, ausgeglichen. Abgesehen von den 1838 im Grand-Western-Canal, Großbritannien, erstellten Hebewerken, ist diese Bauweise bisher nur in Deutschland zur Ausführung gekommen.

Die einzelnen Hebewerke sind in Berichten zu den Schiffahrtskongressen mehrfach hinsichtlich der konstruktiven Ausbildung, Gewichtsausgleich, Antriebe, Trog- und Haltungstore detailliert behandelt worden. Insbesondere wurde auch über die Betriebserfahrungen der Hebewerke Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee auf dem XIV. Kongreß 1957, 1. Abteilung, Mitteilung 1, (Seite 5 bis 29) und des Hebewerkes Henrichenburg/ Waltrop auf dem XXI. Kongreß 1965, 1. Abteilung, Frage 2, (Seite 5 bis 20) berichtet.

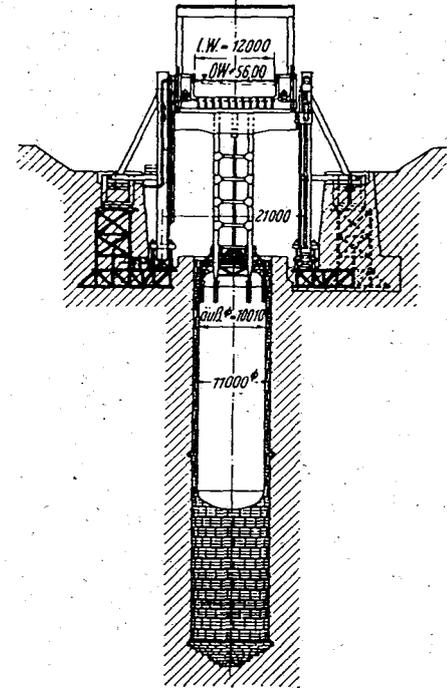
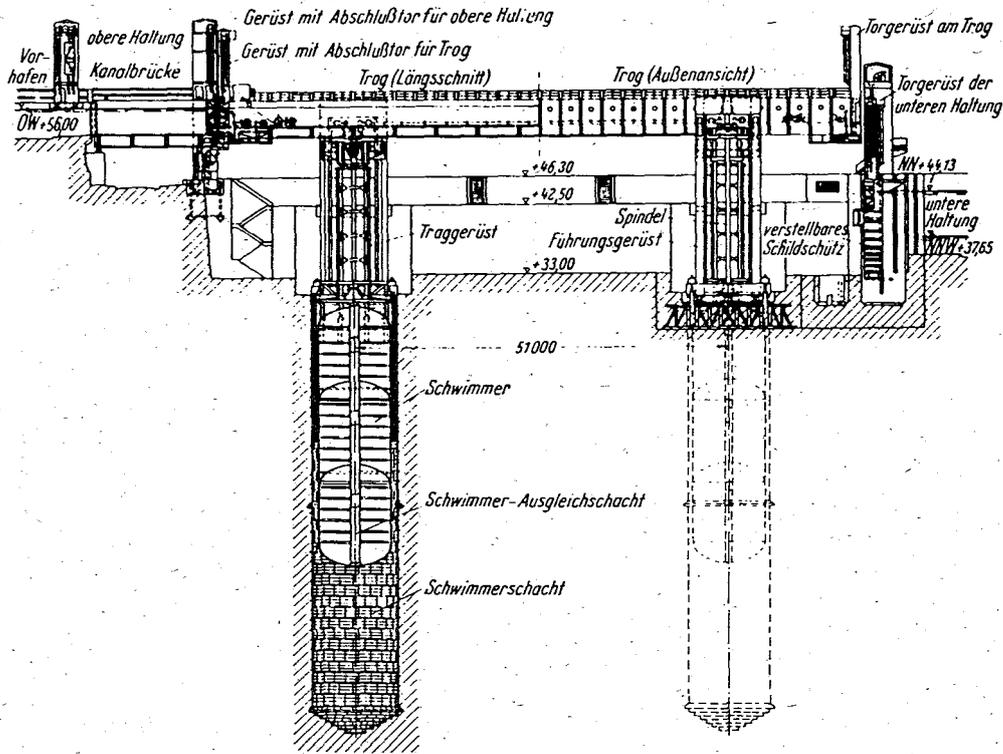


Abb .12: Schiffshebewerk Rothensee

Mit der konstruktiven Weiterentwicklung der Schiffshebwerke war eine permanente Verbesserung der Materialgüte und Zuverlässigkeit der Baustoffe sowie Verfeinerung der Fertigungstechniken verbunden, dadurch ist eine erhebliche Reduzierung des Gewichtsverhältnisses von Stahlkonstruktion zum Gewicht der Wasserfüllung des Troges möglich geworden. Dies gilt sowohl für Schwimmerhebwerke als auch für Gegengewichtshebwerke. Das Stahlgewicht der neuen Hebwerke wurde gegenüber Henrichenburg (1899) im Verhältnis zur Wasserfüllung mehr als halbiert.

Entwicklung des Gewichts der Stahlkonstruktion/Wasserfüllung

	Schwimmerhebwerke			Gegengewichtshebwerke		
	Henrichenburg alt	Magdeburg Rothensee	Henrichenburg neu	Niederfinow	Lüneburg	
Inbetriebnahme	1899	1938	1962	1934	1976	
Schiffsgröße	700 t	1 000 t	1 350 t	1 000 t	1 800 t	
Gewicht des beweglichen Teiles = Schwimmauftrieb	3 100 t	5 000 t	5 000 t	—	—	
Gewicht der Wasserfüllung des Troges	1 550 t	2 650 t	3 500 t	2 600 t	4 200 t	
Gewicht der Stahlkonstruktion des beweglichen Teiles	1 550 t	2 350 t	1 500 t	1 700 t	1 500 t	
<u>Gewicht Stahlkonstruktion</u>	1,0	0,89	0,43	0,65	0,43	
<u>Gewicht Wasserfüllung</u>						

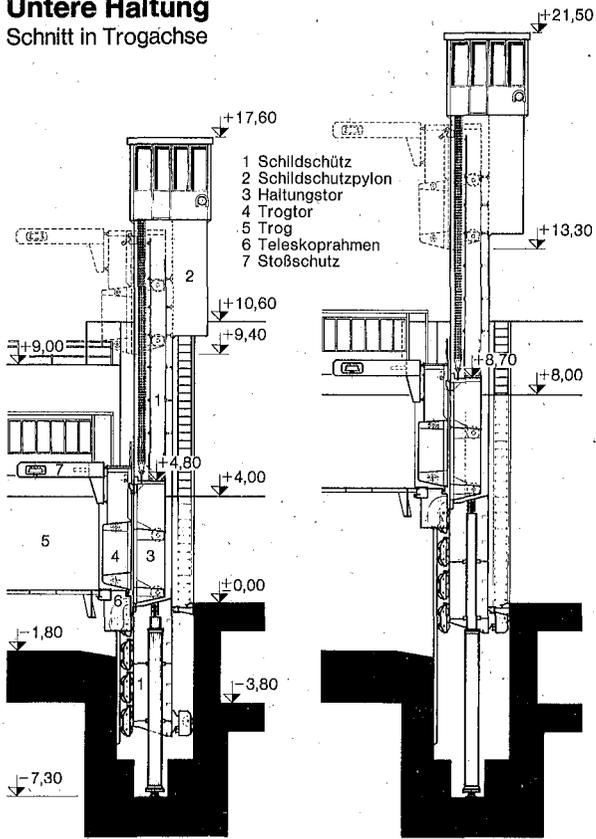
Hinzuweisen ist noch auf eine Besonderheit bei dem zuletzt fertiggestellten Hebewerk Lüneburg am Elbe-Seitenkanal. Zur Anpassung an den wechselnden Wasserstand (4 m) in Unterwasser ist ein unterer Haltungsabschluß mit vertikal beweglichem Schildschütz erforderlich.

Ein derartiges Schildschütz war bereits beim Schiffshebwerk Rothensee in ähnlicher Form ausgeführt worden. Das Schildschütz des Schiffshebwerkes Lüneburg besteht aus zwei seitlichen 22 m hohen Pylonen zur Führung des unteren Haltungsstores. Bei der Dichtung des Schildschützes zur Betonkonstruktion waren einige technische Probleme wegen der Eisbildung konstruktiv zu lösen. Die Besonderheiten und Neuerungen bei Gestaltung sowie Erfahrungen über Konstruktionsmethoden und Betrieb mit dem Schiffshebwerk Lüneburg werden im deutschen Bericht zum XXVI. Kongreß 1985 dargestellt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß sich alle gefundenen Lösungen der Senkrechthebwerke unter Berücksichtigung der Bedingungen des jeweiligen Standortes zweifellos bewährt haben und die Erfahrungen bei Betrieb und Unterhaltung für die Weiterentwicklung künftiger Hebwerke genutzt werden können.

Gefällstufen mit geneigten Ebenen zu überwinden und Schiffe darauf mit Hilfe von entsprechenden Konstruktionen zwischen zwei Haltungen auf- und absteigen zu lassen, ist als Gedanke nicht neu. Hier sollen nur die Schrägaufzüge mit Naßförderung betrachtet werden. Bereits im 19. Jahrhundert sind einige Schiffshebwerke mit geneigter Ebene und Naßförderung des Schiffes gebaut worden (vgl. Tab. 2). Obgleich sie nur für kleinere Schiffe ausgelegt waren, hat der IX. Kongreß 1902 als Leitsatz beschlossen, Vorschläge für geneigte Ebenen zur

Untere Haltung
Schnitt in Trogachse



Schildschützstellung
bei norm. Wasserstand NN+4,00m

Schildschützstellung
bei höchst. schiffb. Wasserstand NN+8,00m

Abb. 13: Schiffshebewerk Lüneburg, Schildschütz am unteren Haltungsabschluß

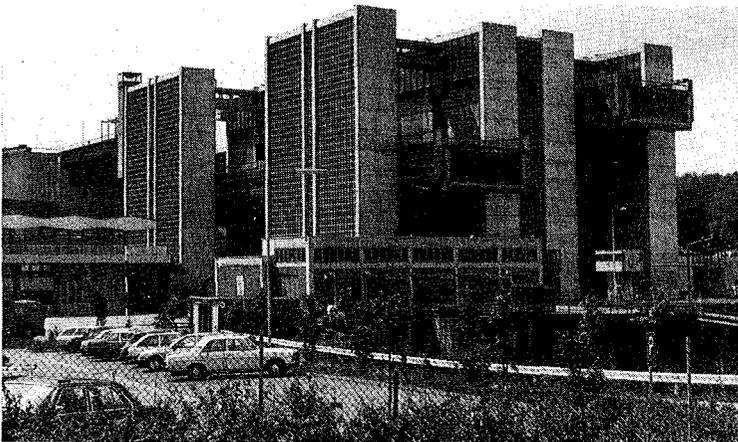


Abb. 14: Schiffshebewerk Lüneburg

Beförderung größerer Schiffe ,...sobald als möglich auszuführen und in Betrieb zu setzen.' (Vgl. Abschnitt 2).

Auch auf dem XVII. Kongreß 1949, dem XIX. Kongreß 1957 und dem XXI. Kongreß 1965 sind wie bereits dargestellt grundsätzliche Schlußfolgerungen über Schrägaufzüge gezogen worden.

Das erste Schiffshebewerk mit längsgeneigter Ebene für größere Schiffsabmessungen ist jedoch erst 1968 in Ronquières, Belgien, im Zuge des Kanals von Charleroi nach Brüssel gebaut worden. Mit der Neugestaltung und Erweiterung des Wasserstraßennetzes von Belgien ergab sich die Notwendigkeit des Ausbaus des Charleroi-Kanals für das 1350 t-Schiff. In diesem Zusammenhang sind 16 Schleusen auf einer Strecke von ca. 14 km durch diesen Längsaufzug ersetzt worden. Er hat zwei Tröge mit Gegengewichtsausgleich, deren Bewegungen vollständig unabhängig voneinander sind. Im normalen Betrieb fährt einer zu Tal, während der andere zu Berg fährt. Die Bewegungen müssen aber nicht synchron erfolgen. Bei einer Neigung von 5% und der zu überwindenden Fallhöhe von 67,55 m haben die Trogwagen dieser schiefen Ebene eine Länge von 91 m zwischen den Toren; durch die Stoßschutzeinrichtungen beträgt die nutzbare Länge nur 87 m. Eine ausführliche Beschreibung des Schrägaufzuges von Ronquières ist zum XXI. Kongreß 1965, 1. Abteilung, Frage 2 (Seite 57 bis 97) gegeben worden.

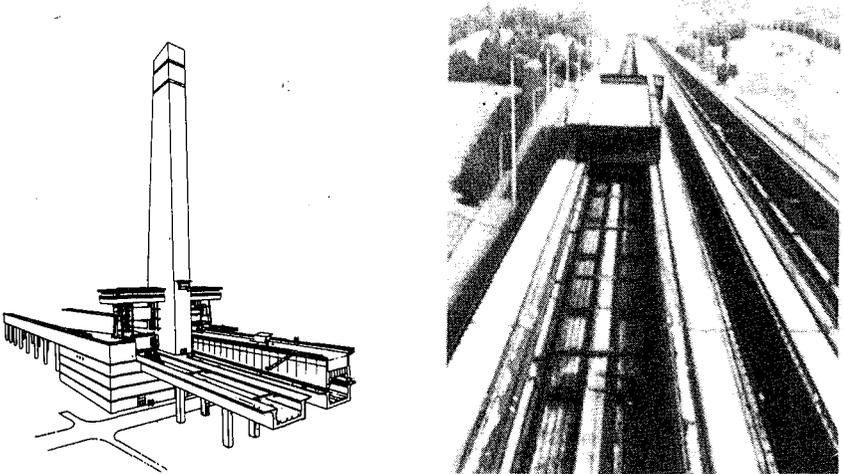


Abb. 15: Schrägaufzug Ronquières

Ein weiterer Längsaufzug ist 1976 im Zuge des Wasserkraftausbaus am Jennisei in Krasnojarsk, UdSSR, in Betrieb genommen worden. Mit dem Längsaufzug wird eine Fallhöhe von 102 m vom Unterwasser bis zur Kronenhöhe des Staudammes mit einer 1200 m langen Bahn überwunden. Im Oberwasser treten Wasserstandsschwankungen bis zu 12 m auf. Die Anpassung an die unterschiedlichen Wasserstände wird durch eine zum Stausee geneigte, 310 m lange Bahn erreicht. Beide Rampen sind auf der Dammkrone mit einer Drehscheibe von 106 m Durchmesser verbunden, auf der der Trog um 142° gedreht wird. Die Trogabmessungen von

90 x 18 x 3,3 m sind für ein 2000 t-Schiff ausgelegt. Da der Trog selbstfahrend ohne Gegengewichtsausgleich konstruiert ist, ist für den Antrieb der 156 Hydraulikmotoren bei der Bergfahrt mit einer Geschwindigkeit von 60 m/ min. eine Leistung von 12.500 kW erforderlich. Über den Längsaufzug von Krasnojarsk ist zum XXI. Kongreß 1965, 1. Abteilung, Frage 2 (Seite 226 bis 229) und von Agranow [4] und Wulf [19] berichtet worden.

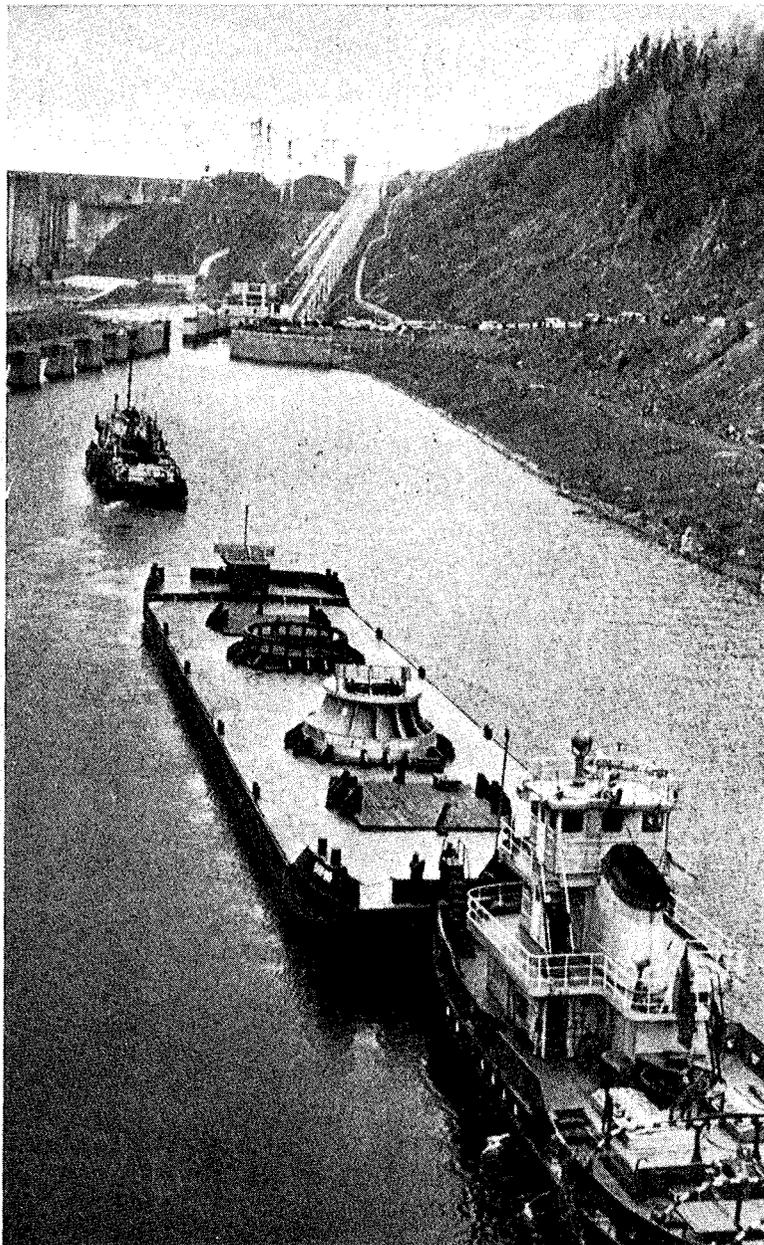


Abb. 16a: Schrägaufzug Krasnojarsk, Blick auf die Gesamtanlage

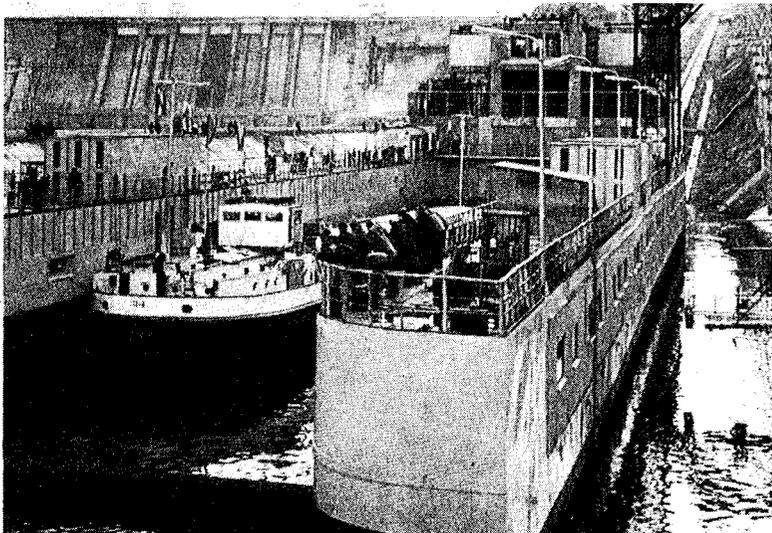


Abb. 16b: Troglage

Der einzige bisher nach Foxton, im Grand-Junction-Kanal, Großbritannien, (beschrieben zum IX. Kongreß 1902, 1. Abteilung, Frage 1, Bericht 8) gebaute Queraufzug wurde 1969 in Arzwiller im Rhein-Marne-Kanal, Frankreich, in Betrieb genommen. Im Zuge der Modernisierung des Rhein-Marne-Kanals ist nach einem internationalen Wettbewerb ein Vorschlag ausgewählt worden, der die 17 Schleusen der alten Trasse im engen Tal der Zorn durch ein einziges Hebewerk auf quergeneigter Ebene ersetzt. Insbesondere wegen der topographischen Gegebenheiten war dem Queraufzug gegenüber dem Längsaufzug hier der Vorzug gegeben worden.

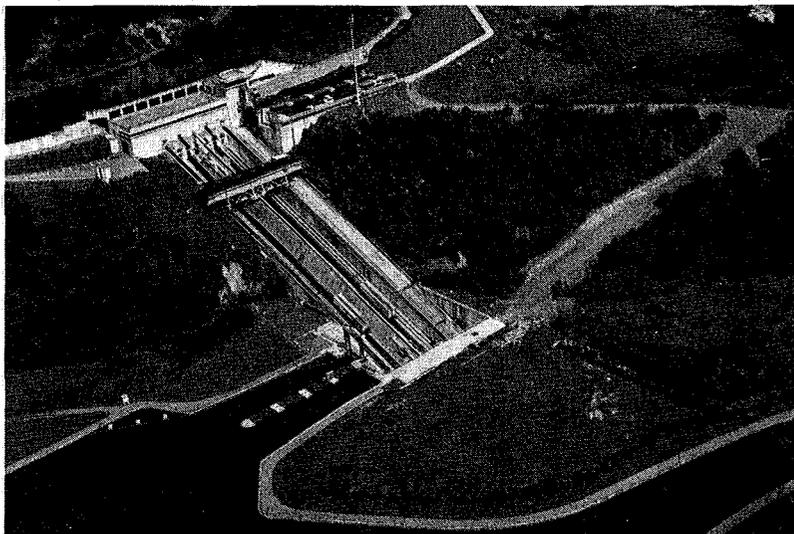


Abb. 17: Queraufzug Arzwiller

Eine geneigte Ebene mit Queraufzug kann sich steilen Neigungen besser anpassen als ein Längsaufzug. In Ronquières wurden 5% nicht überschritten, und Arzviller hat eine Neigung von 41% erhalten. Die zu überwindende Höhendifferenz beträgt 44,55 m, die Bahn der geneigten Ebene ist 108,65 m lang. Bei dem Trog mit nutzbaren Abmessungen von 41,50 x 5,50 x 2,60 m wird der Gewichtsausgleich über Gegengewichte erreicht. Die maximale Geschwindigkeit des Abstiegswagens beträgt 0,60 m/sec. Über das Ergebnis des Wettbewerbs für den Neubau des Abstiegsbauwerkes Arzviller und die technischen Details des Queraufzuges ist zum XXI. Kongreß 1965, 1. Abteilung, Frage 2 (Seite 99 bis 111) umfassend berichtet worden.

Beim Ideenwettbewerb für das Abstiegsbauwerk Lüneburg sind neben Vorschlägen für Senkrechtbewerke auch Längs- und Queraufzüge angeboten worden. Bei geneigten Ebenen wirkt sich die Wasserspiegelschwankung um rd. 4 m im Unterwasser durch die unterschiedlichen Wasserstände der Elbe sehr ungünstig aus.

Bei der längsgeneigten Ebene wurde ein zweiteiliger Trogwagen — horizontal verschieblich — vorgeschlagen, so daß mit dem oberen Schiffstrog auf dem keilförmigen Unterwagen jeder schiffbare Wasserstand angefahren werden könnte. Für den Queraufzug sollte die Anpassung an die wechselnden Wasserstände im Unterwasser durch eine Höhenverstellbarkeit des Troges mit ölhydraulischer Hubvorrichtung erreicht werden. Diese technischen Lösungen zeigten, daß Wasserspiegelschwankungen in Haltungen bei den Schrägaufzügen technisch recht aufwendige Konstruktionen erfordern, nicht nur hinsichtlich der Baukosten, sondern auch aus der Sicht des Betriebes und der Unterhaltung.

Das Problem, mit Binnenschiffen Geländesprünge zu überwinden, hat auf den Ingenieur von jeher einen starken Anreiz ausgeübt. So sind neben den Senkrechtbewerken und Schrägaufzügen eine Fülle von Sonderbauweisen entwickelt worden, denen aber heute nur noch historische Bedeutung zukommt. Zu erwähnen sind hier insbesondere die von Rothmund vorgeschlagene und von Röhnisch weiterentwickelte Tauchschleuse sowie Vorschläge für Hebewerke mit Gewichtsausgleich durch Waagebalken. Erwähnenswert ist auch die Über-

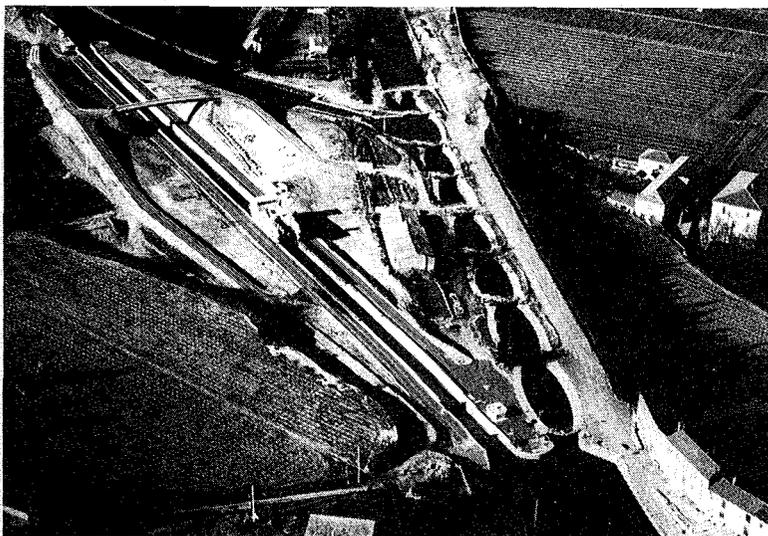


Abb. 18: Wasserkeil von Fonserrannes

legung von Faure, zur Vermeidung von tiefen und schwer herzustellenden Schwimmerschächten, die Schwimmer in Behältern seitlich neben dem Trog anzuordnen.

Die von Aubert entwickelte Sonderkonstruktion des Wasserkeils ist inzwischen in Montech im Seitenkanal der Garonne, Frankreich, und Fonserannes im Kanal du Midi, Frankreich, verwirklicht worden (vgl. Tab. 2). Es sei in diesem Zusammenhang auf den französischen Beitrag zum XXI. Kongreß 1965 verwiesen. Die Wirkungsweise des Wasserkeils ist sehr einfach: in einem geneigten Betontrog wird der Wasserkeil, auf dem das Schiff schwimmt, mit einem Schildschütz auf- und abwärts geschoben. Die bisherigen Wasserkeile sind zwar nur mit relativ kleinen Abmessungen für Schiffe mit einer Tragfähigkeit bis zu 350 t hergestellt worden, aber der erneute Bau eines Wasserkeils in Fonserannes zeigt, daß der 1974 in Montech fertiggestellte die Erwartungen erfüllt hat. Über die bisherigen Erfahrungen hat Aubert [5] berichtet.

Ein weiterer Vorschlag einer Sonderbauweise, die auch realisiert wurde, ist die von Krey 1925 vorgeschlagene „Schleuse ohne Aufenthalt“. Um die Zeitverluste bei Kammerschleusen zu vermindern, durchfährt das Schiff die Schleuse ohne während der Füll- bzw. Entleerungszeit festzumachen. Eine derartige Schleuse, die infolge ihrer Länge in der Regel erhöhte Baukosten erfordert, ist erstmalig am Falsterbo-Kanal, Schweden, für eine Fallhöhe von 1 m mit einer Kammerlänge von 1.000 m erbaut worden. Im XVII. Kongreß 1949, 1. Abteilung, Mitteilung 1 (Seite 146 bis 148) ist über den Bau und die Erfahrungen berichtet worden.

6. Folgerungen und Ausblick

Rückblickend auf die Entwicklung des Baus von Anlagen zur Überwindung von Gefällstufen von geringer bis zu denen von außergewöhnlicher Höhe kann man feststellen, daß sich bei der Vielzahl von Schleusen eine Reihe von Standardtypen in Abhängigkeit von den Fallhöhen entwickelt hat, die den verschiedenen örtlichen Gegebenheiten und betrieblichen Belangen Rechnung trägt. Bei den Hebewerken hingegen, die bisher nur in einer im Vergleich zu den Schleusen sehr geringen Zahl ausgeführt wurden, läßt sich keine vergleichende Betrachtung anstellen oder gar eine Typbildung feststellen. Hier ist jede ausgeführte Anlage für sich als eine technische Großleistung des Zusammenwirkens der verschiedenen Ingenieurdisziplinen anzusehen.

Zu Beginn dieses Jahrhunderts stand der Neubau von Kanälen zur Verbindung der Stromgebiete und der Ausbau der natürlichen Wasserläufe zu Schiffsstraßen in Verbindung mit der Nutzung der Wasserkräfte im Vordergrund. Zum heutigen Zeitpunkt kann diese Entwicklung als weitgehend abgeschlossen angesehen werden, wenn man die bereits begonnenen und vertraglich festgelegten Projekte mit einbezieht. Entsprechend werden sich auch die Voraussetzungen und die technischen Probleme für den Bau von Schleusen, Hebewerken oder sonstigen Anlagen zur Überwindung der Gefällstufen in diesen Wasserstraßen wandeln. Als Folge der Altersstruktur der bestehenden Anlagen, die beispielhaft für die deutschen Schleusen in Abb. 19 dargestellt ist, wird zunehmend der Ersatz dieser Bauwerke erforderlich werden, um die Leistungsfähigkeit des bestehenden Wasserstraßennetzes zu erhalten. Gleichzeitig macht aber die Steigerung des Verkehrsaufkommens auf zahlreichen Wasserstraßen auch eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch Vergrößerung der Abmessungen der Anlagen erforderlich, um den Verkehr mit größeren Schiffsgefäßen zu ermöglichen, sowie die Zusammenfassung zahlreicher Gefällstufen von geringer Fallhöhe zu einer von großer Höhe, um auch auf diesem Wege eine weitere Leistungssteigerung zu erreichen. Als Beispiel hierfür sei noch einmal auf

Tab. 2

Ausgeführte Schiffshebewerke mit geneigter Ebene (Naßförderung)

Ort/Land	Wasserstraße	Jahr der Inbetriebnahme	Bauart	Fallhöhe (m)	Neigung	nutzbare Trogabmessungen			Gesamtgewicht des Troges* (t)	Tragfähigkeit des Regelschiffes (t)	Bemerkungen
						Länge (m)	Breite (m)	Wassertiefe (m)			
Tornfalcon / Wrantage / Ilminster (Großbritannien)	Chard-Kanal	1842	Längsaufzug	zwischen 8,50 und 28,50	1: 8	8,70	2,05	—	—	—	je 2 Tröge, durch Seile miteinander verbunden
Blackhill (Großbritannien)	Monkland-Kanal	1850	Längsaufzug	29,26	1:10	21,34	4,36	0,61	80	60	2 Tröge, durch Seile miteinander verbunden
Georgetown (USA)	Chesapeake-Ohio-Kanal	1876	Längsaufzug	11,60	1:12	34,12	5,10	0,76	390	115	1 Trog mit Gegengewicht
Foxton (Großbritannien)	Grand-Junction-Kanal	1900	Queraufzug	22,85	1: 4	24,40	4,47	1,50	—	70	2 Tröge, durch Seile miteinander verbunden
Ronquières (Belgien)	Kanal von Charleroi nach Brüssel	1968	Längsaufzug	67,55	1:20	87,00	12,0	3,70	5700	1350	2 unabhängige Tröge mit Gegengewichten
Arzviller (Frankreich)	Rhein-Marne-Kanal	1969	Queraufzug	44,55	1: 2,4	41,50	5,50	2,60	850	350	1 Trog mit Gegengewichten
Montech (Frankreich)	Seitenkanal der Garonne	1974	Wasserkeil	13,30	1:33,3	443 (Länge d. Rinne)	6,00	2,50	1400 (max. Gew. d. Wasserkeils)	350	
Krasnojarsk (UdSSR)	Jennisei	1976	Längsaufzug	102,0	1:10 1:20	90,0	18,0	3,3	8100	2000	1 selbstfahrender Trog ohne Gewichtsausgleich, Drehscheibe von 106 m Durchmesser zur Richtungsänderung
Fonserannes (Frankreich)	Kanal du Midi	1984	Wasserkeil	13,60	1:20	313 (Länge d. Rinne)	6,00	2,50	1200 (max. Gew. d. Wasserkeils)	350	

das bereits erwähnte Hebewerk von Strépy-Thieu im Canal du Centre, Belgien, verwiesen, das für 1.350 t-Schiffe gebaut wird und die vier hier seit mehr als 70 Jahren in Betrieb befindlichen Druckwasserhebewerke für 300 t-Schiffe ersetzen soll.

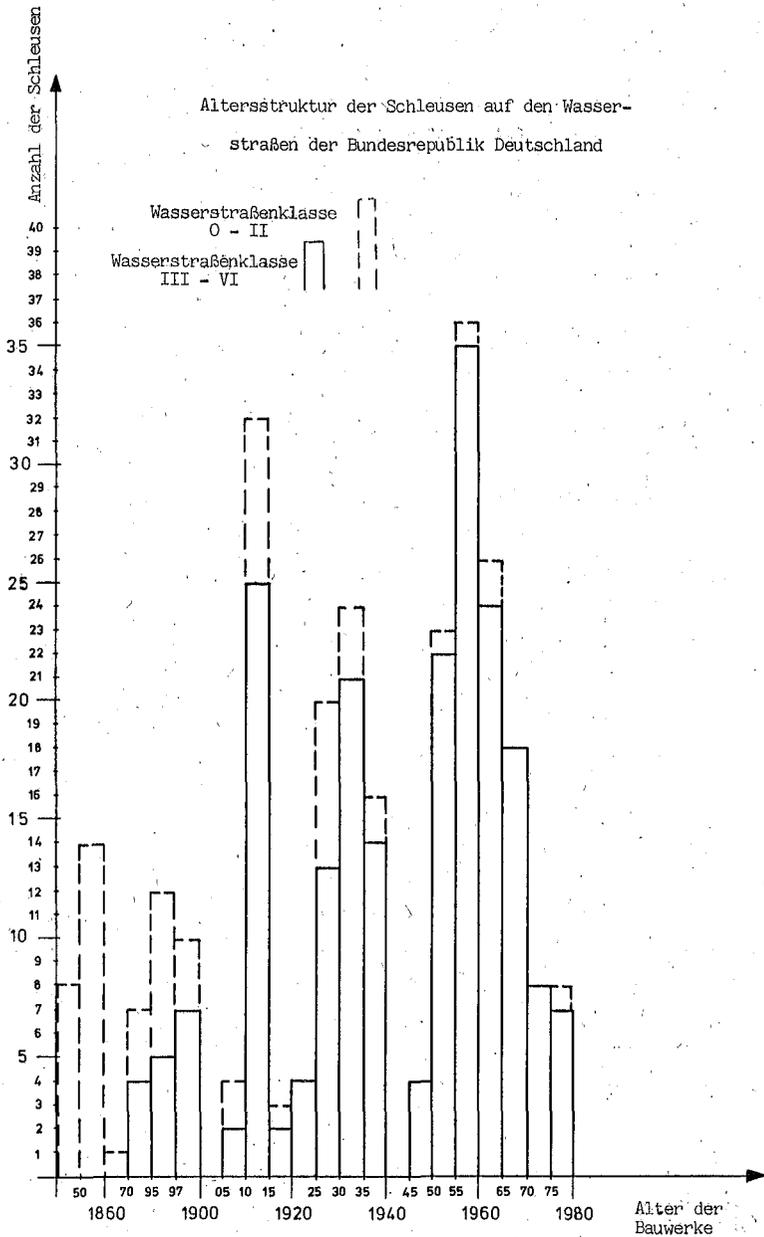


Abb. 19: Altersstruktur der Schleusen auf den Wasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland

Die Schlußfolgerungen auf dem XXV. Kongreß 1981 (1. Abteilung, Frage 2) für die baulichen Fragen

- „a) der Feststellung und Beseitigung von Unfallschwerpunkten und Engpässen sollte höchste Priorität gegeben werden;
- b) zur Verringerung der Wartezeit sollten angemessene Abstände zwischen den einzelnen Schleusen vorgesehen werden;
- c) zur Erhöhung der Sicherheit und zur Erleichterung der Durchfahrt durch die Schleusen sollte für eine angemessene Dimensionierung der Schleusenkammern, eine günstige Gestaltung der Zufahrten und der Schleuseneinfahrleitwerke selbst und für eine geeignete Ausrüstung zur Bedienung der Schleusen gesorgt werden, sowie für Abhilfemaßnahmen hinsichtlich der von den Schleusen ausgehenden Wellenbildung in kleineren Wasserstraßen”

stellen auch die vorrangig bei den Schleusen und Hebewerken zu lösenden Probleme dar. Bei allen Maßnahmen werden auch künftig in besonderem Maße die Gesichtspunkte der Umweltverträglichkeit zu berücksichtigen sein.

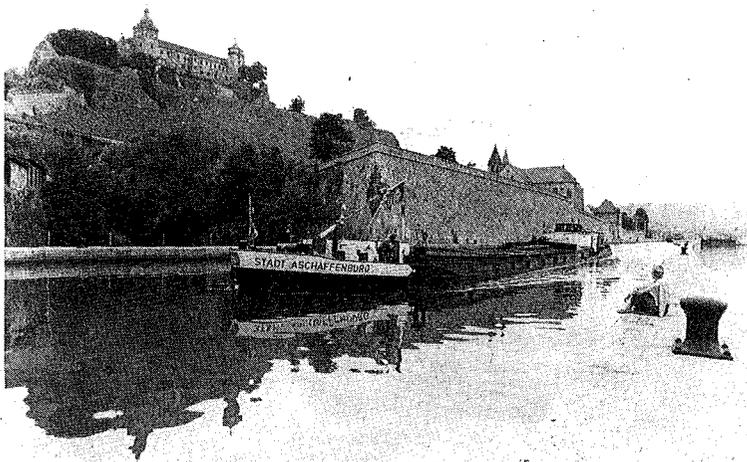


Abb. 20: Schleuse Würzburg (Main, Deutschland)

Literatur:

- [1] Internationaler Ständiger Verband für Schiffahrtskongresse: Einzelberichte, Generalberichte und Beschlüsse der bisherigen 25 Kongresse (soweit verfügbar).
- [2] Internationaler Ständiger Verband für Schiffahrtskongresse: „Programme der Arbeiten, Namen der Berichterstatter, Anträge und Beschlüsse der XII. Internationalen Schiffahrtskongresse 1885 -1912“, Brüssel 1913.
- [3] Commission Internationale pour l'étude des écluses, éleveurs de bateaux, cales seches et barrages en riviere: Rapport annuel, AIPCN-Bulletin Nr. 42 (1982), S. 122 - 124.
- [4] A. C. Agranov: „Multi-purpose exploitation of the Angara-Yenisey River Basin“, AIPCN-Bulletin Nr. 26 (I/ 1977), S. 27 - 32.
- [5] J. Aubert: „Aménagement de nouvelles voies navigables“, AIPCN-Bulletin Nr. 6 (IV/ 1970), S. 21 - 42.
- [6] H. Dehnert: „Schleusen und Hebewerke“, Springer-Verlag, Berlin 1954.
- [7] H. Donau et al.: „Die Schleuse Uelzen — eine neuartige Sparschleuse mit hoher Leistungsfähigkeit“, Der Bauingenieur (1977), S. 175 - 186.
- [8] M. Eckoldt: „Die Entwicklung der Kammerschleuse“, Die Wasserwirtschaft (1949/ 50), S. 255 -260, 290 - 295.
- [9] R. Hinricher: „Zur geschichtlichen Entwicklung der Schleusenverschlüsse und der Füll- und Entleerungseinrichtungen an Schleusen“, Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen Nr. 8 (1970), S. 282 - 288.
- [10] J. Illiger: „Der Elbe-Seitenkanal und seine Abstiegsbauwerke“, Jahrbuch der hafentechnischen Gesellschaft 33. Band (1969/ 71), S. 38 - 52.
- [11] M. Marchal, M. Tiphine: „Le plan incliné d'Arzwiller“, Editions de la Navigation du Rhin, Strasbourg 1964.
- [12] L. Parizot: „La pente d'eau de Fonserannes“, Travaux 4/ 1984.
- [13] H. Press: „Binnenwasserstraßen und Häfen“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1956.
- [14] W. Roehle: „Historische Entwicklung, Aufgabenstellung und deren Lösung im Bau von Schleusen in Wasserstraßen“, Stahlbau-Rundschau, Heft 29 (1966).
- [15] R. Thélu: „Les éleveurs à bateaux sur plan incliné — projets et réalisations d'hier — solutions d'aujourd'hui“, Editions de la Navigation du Rhin, Strasbourg 1966.
- [16] R. Thélu: „Les écluses avant le 17^e siècle recherches sur les origines des écluses à sas“, Navigation, Ports et Industries, Strasbourg 1978.
- [17] A. Weber Ritter von Ebenhof: „Bau, Betrieb und Verwaltung der natürlichen und künstlichen Wasserstraßen auf den Internationalen Binnenschifffahrts-Kongressen 1885 bis 1894“, Wien 1895.
- [18] F. Wehrschütz: „Füll- und Entleerungssysteme von Schiffsschleusen mit großen Fallhöhen“, Mitteilung des Institutes für Wasserwirtschaft, Grundbau und konstruktiven Wasserbau der Technischen Hochschule Graz, Heft 7/ 1962.
- [19] D. Wulf: „Schiffshebewerk Krasnojarsk am Jennisei“, Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, 5/ 1980, S. 172 - 174.
- [20] —: „Studien zu Bau- und Verkehrsproblemen der Wasserstraßen“, (2 Bände), Bundesverkehrsministerium der Bundesrepublik Deutschland, 1949.