

DIE BAUTECHNIK

10. Jahrgang

BERLIN, 14. Juni 1932

Heft 26

Allgemeine Gesichtspunkte für das Entwerfen von Binnenschiffschleusen.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Ministerialrat W. Paxmann, Potsdam.

Je mehr die Erkenntnis an Raum gewinnt, daß die Verkehrsunternehmungen (Eisenbahn, Schifffahrt, Kraftwagenbetrieb usw.) nicht eigenen Zwecken, sondern der allgemeinen Wirtschaft dienstbar sein sollen, zu der sie selbst als wesentlicher Bestandteil rechnen und deren Entwicklung sie in hohem Maße oft entscheidend beeinflussen können, um so mehr sehen sich die Betriebe schon um der Selbsterhaltung willen gezwungen, auf ihre größtmögliche Vervollkommnung hinzuwirken, um das Vertrauen in sich zu stärken und den Kreis der Nutznießer zu erweitern. Hier setzt der gesunde Wettstreit unter den verschiedenen Trägern des Verkehrs wesens ein, der darauf ausgeht, es einander in der Verbesserung der Anlagen, in der Beschleunigung der Verkehrsabwicklung, in der Erhöhung der Sicherheit, der Leistungsfähigkeit der Anlagen, der Bequemlichkeit und Einfachheit der Handhabung und schließlich in der Schonung der anvertrauten Güter zuvorzutun. Der Erfolg äußert sich zuletzt in einer Herabsetzung der Frachtsätze, die ihrerseits Preissenkungen zur Folge haben und so der Allgemeinheit zugute kommen.

Mittelbar fördern die Verkehrsunternehmungen auf diesem Wege auch sich selbst. Denn die durch sie erwirkten Preissenkungen tragen dazu bei, die Zahl der Käufer und Verbraucher sowie den Bedarf zu steigern, also die Wirtschaft allgemein zu beleben und auf diese Weise wiederum den Verkehr und die Ausnutzung der Verkehrsanlagen zu heben. Die durch die Verbesserung der Anlagen entstandenen Unkosten setzen sich also über die Senkung der Frachten in erhöhte Einnahmen um, in denen sie ihre Rechtfertigung finden.

An den Bestrebungen, die Verkehrsanlagen den Anforderungen anzupassen und so ihre Stellung im Wettstreit mit den übrigen Verkehrsmöglichkeiten zu erhalten, hat sich auch die Wasserbauverwaltung in hohem Maße beteiligt oder, besser gesagt, aus den eben angeführten Gründen im Interesse ihrer Selbsterhaltung und der Allgemeinheit beteiligen müssen. Der Wasserbau blickt ebenso wie jede andere Fachrichtung des Bauwesens heute auf einen großen Reichtum von Erfahrungen wertvollster Art zurück, die in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts mit der Errichtung der fünf Mainstauufen, der ersten großzügigen Flußkanalisierung, und dem Bau der ersten auf großen Verkehr berechneten künstlichen Binnenschiffahrtstraße, des Dortmund-Ems-Kanals, einsetzen und seitdem eine völlige Umwälzung in den Bauformen und Bauverfahren herbeigeführt haben. Je größer die Fahrzeuge und die Verkehrsmengen wurden, für deren Beförderung Sorge zu tragen war, und je größer die Wasserläufe waren, an deren Kanalisierung man sich heranwagte, um so sorgfältiger mußte die Ausbildung der Bauwerke bis in ihre Einzelheiten hinein erwogen werden. Dabei hat naturgemäß jede Entwurfsbearbeitung, auf den bei dem letzten Bau gesammelten Erfahrungen sich aufbauend, neue Erkenntnisse ausgenutzt und neue Wünsche gezeitigt, bis dann schließlich sich zwangsläufig eine Reihe von Gesichtspunkten herausbildete, die für die Bildung neuer Formen maßgeblich und wegweisend wurden.

Im besonderen Maße steht der Schleusenbau unter dem Zwange der Bestrebungen, die auf ein Höchstmaß an Leistung, Schnelligkeit in den Schleusenvorgängen und Sicherheit in der Verkehrsabwicklung hinauslaufen, die für den Schiffer Zeit und Geld bedeuten. So notwendig die Schleuse an sich ist und so wenig sich ohne sie eine Flußkanalisierung oder ein Schifffahrtkanal überhaupt denken läßt, sie ist und bleibt ein Verkehrshindernis, dessen Auswirkung sich nur durch entsprechend günstige Ausbildung derjenigen Bauwerkteile, die auf die Abwicklung des Schleusenvorgangs selbst Einfluß haben, mehr oder weniger mildern läßt. Der Zeitverlust, den ein Schleppzug durch den Aufenthalt an einer Schleuse erfährt, wird im allgemeinen der Zeit gleichgesetzt, in der der Schleppzug im Mittel eine freie Strecke von 4 km Länge zurücklegt.

Der Dortmund-Ems-Kanal hat auf seiner Strecke zwischen Bevergern und Herburn bei einer Wegelänge von 107 km 16 Schleusen. Die Reise dauert etwa 43 Stunden, während für die gleiche Strecke ohne Schleusen nur rd. 28 Reisetunden notwendig sein würden, also 15 Stunden oder im Mittel der Jahreszeiten etwa 1½ Tage weniger. Rechnet man die Kahnkosten, d. h. die durch Verzinsung und Tilgung des für den Ankauf des Kahnens aufgewendeten Kapitals, sowie durch Verwaltung, Versicherung, Unterhaltung und Bemannung entstehenden Selbstkosten eines Kahnens von 700 t Tragfähigkeit zu 7 Rpf/g/t und für den Tag, so erwachsen dem

Schiffer durch die genannten Schleusen des Dortmund-Ems-Kanals Unkosten in Höhe von $700 \cdot 0,07 \cdot 1,5 = 73,50$ RM, die in der Höhe der Frachten zum Ausdruck kommen, indem sie die Unkosten der Reise je nach dem Grade der Ausgeglichenheit des Verkehrs in den beiden Verkehrsrichtungen um 10 bis 16 Rpf/g/t erhöhen.

Damit sind die durch die Schleusen entstehenden Frachtmehrkosten aber noch nicht erschöpft. Die Betriebskosten der Schleusen drücken sich aus in der Höhe der Abgaben, mit denen der Verkehr auf den kanalisierten Strömen und Kanälen belastet ist. Ferner hat die Zahl der Schleusen Einfluß auf die Höhe der Versicherungsprämien, da immerhin jede Schleuse eine gewisse Havariegefahr in sich birgt. Von großer Bedeutung ist außerdem noch der Umstand, daß von der Zahl der auf einer Reise zu überwindenden Schleusen und von der auf die einzelnen Schleusenvorgänge zu verwendenden Zeit in gewissem Maße die Zahl der Reisen, die der Kahn in einem Jahre zurückzulegen vermag, also mit anderen Worten der Grad der Ausnutzung des Kahnraums abhängt.

Alle diese wirtschaftlichen Überlegungen lassen erkennen, daß der Entwurfsbearbeiter vor dem Bau neuer oder dem Ausbau vorhandener Wasserstraßen Linienführung und Gefällverhältnisse sorgfältig daraufhin prüfen muß, mit welcher geringsten Zahl von Stauufen das Ziel ohne Gefährdung anderer Belange erreicht werden kann. Darüber hinaus muß er versuchen, durch zweckentsprechende Ausbildung der Bauwerke selbst die Schleusungszeit soweit als nur irgend möglich einzuschränken.

Daß hierbei tunlichst an Baukosten gespart werden muß und stets nur die unter Abwägung aller volks- und bauwirtschaftlichen Gesichtspunkte billigste der jeweils für die Ausführung in Betracht kommenden Bauformen gewählt werden darf, soll als selbstverständlich vorausgesetzt und deshalb bei den folgenden Ausführungen, die sich vornehmlich mit den verkehrswirtschaftlichen Gesichtspunkten beschäftigen, die für das Entwerfen von Schleusenbauwerken maßgebend sind, nur in besonderen Fällen erwähnt werden.

Schleusenabmessungen.

Die erste Frage, die bei jedem Schleusenneubau entschieden werden muß, betrifft die nutzbaren Abmessungen der Schleusenkammer. Sie hängt zunächst davon ab, ob eine einschiffige Schleuse genügt oder eine mehrschiffige oder Schleppzugschleuse vonnöten ist. Maßgebend hierfür sind die Verkehrsmengen und die gebräuchliche Verkehrseinheit. Früher war die einschiffige Schleuse die Regel, weil das Einzelschiff, das durch Staken, Treideln oder Segeln fortbewegt wurde, die Verkehrseinheit bildete. Die nutzbaren Abmessungen richteten sich nach den Außenmaßen der größten Schiffe, die in ihr Platz finden mußten. Mehrschiffige Schleusen waren noch nicht erforderlich, weil die Verkehrsmenge hierzu keinen Anlaß bot, und auch nicht zweckmäßig, weil der Schleusenvorgang bei einer einschiffigen Schleuse naturgemäß weniger Zeit in Anspruch nimmt als bei einer mehrschiffigen, die überdies nur dann ausgenutzt werden kann, wenn jedesmal mit der Schleusung so lange gewartet wird, bis die Schleusenkammer voll besetzt ist. Dasselbe gilt auch heute noch für eine größere Zahl von kleineren Schifffahrtstraßen. Wird hier eine alte Schleuse aus irgendeinem Grunde durch eine neue ersetzt, dann wird man lediglich die nutzbaren Abmessungen um einige Dezimeter erweitern, wenn die vorhandenen den Anforderungen hinsichtlich der Betriebssicherheit nicht mehr genügen. Je größer das Verhältnis des Kammerquerschnitts zum Tauchquerschnitt des ein- oder ausfahrenden Fahrzeugs ist, um so geringer ist die Strömungsgeschwindigkeit der verdrängten und am Fahrzeug vorbei in entgegengesetzter Richtung abflutenden Wassermenge, um so geringer also auch der Widerstand, den das Schiff bei der Einfahrt in die Kammer zu überwinden hat.

Daneben ist auch der Fall denkbar, daß man die Abmessungen vorsorglich nach größeren Schiffsmaßen berechnet oder selbst mehrschiffige Schleusen baut, wenn etwa Aussicht besteht, daß über kurz oder lang die betreffende Schifffahrtstraße der voraussichtlichen Verkehrsentwicklung auf denjenigen Wasserstraßen angepaßt werden muß, für die sie die Verbindung bildet. Hier handelt es sich aber dann schon um den Ausbau einer vorhandenen Wasserstraße, für den die gleichen Grundsätze gelten wie für den Neubau.

Bei dem Neubau einer Wasserstraße (Kanal oder Kanalisierung) kann die Frage, welche Abmessungen den Schleusenammern zu geben sind, nur nach grundsätzlichen Gesichtspunkten entschieden werden. Der Bau der Binnenschiffe hat sich hinsichtlich der Kahnraumgröße bis in die neueste Zeit hinein in der Entwicklung befunden. Es fragt sich, ob dieser Entwicklung auch für die Zukunft freier Lauf gelassen werden soll oder ob ihr nicht besser zugunsten einer möglichst einheitlichen Gestaltung des Binnenschiffahrtwesens nunmehr auf Grund der heutigen Erfahrungen Einhalt geboten wird.

Unser heutiges Binnenschiffahrtstraßenetz ist in einem Zeitraum entstanden, der im 17. Jahrhundert mit dem Bau des Friedrich-Wilhelm-Kanals, also in einem Zeitpunkt, in dem ein 100-t-Kahn noch als unehört großes Binnenschiff angestaunt wurde, begann. Mit dem Fortschreiten der Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit des Betriebes sowie des Unternehmungsgeistes und der Größe des Verkehrs wuchs auch die Größe des Binnenschiffs, das immer größere Anforderungen an die Bemessung und die Leistungsfähigkeit der Wasserstraßen stellte. Einige aus der großen Zahl der Beispiele sollen die heutigen Verhältnisse kennzeichnen. Sie beziehen sich lediglich auf die wichtigsten heute bestehenden oder im Bau begriffenen Durchgangswasserstraßen und ihre hauptsächlichsten Abzweigungen. Von den kleineren Wasserstraßen, namentlich den stark verästelten Wasserwegen in Brandenburg und Mecklenburg, die zumeist aus älterer Zeit stammen und deren Schleusenabmessungen unter sich stark abweichen, ist als zu weitgehend abgesehen worden. Das Gesamtbild würde bei ihrer Berücksichtigung allerdings noch wesentlich mannigfaltiger und lehrreicher sein.

Es handelt sich hier um die natürliche Folge der durchaus verständlichen und namentlich in den letzten Jahrzehnten in starker Steigerung begriffenen Bestrebungen, die Wirtschaftlichkeit der Unternehmungen durch Herabsetzung der Betriebskosten zu heben. Je größer die Schiffsabmessungen werden, je mehr Ladung also der Schiffsraum aufzunehmen vermag, desto geringer wird der auf die Tonne Ladung entfallende Anteil der Schiffskosten, d. h. der Kosten, die dem Schiffseigner durch die Vorkhaltung des Kahnraumes entstehen. Je größer also der Schiffsraum ist, um so niedriger werden die Schiffsfrachten und um so größer die Aussichten des Schiffseigners, Ladung für sein Schiff zu erhalten.

Nun hat die Größe des Laderaums aber auch ihre Grenzen, nämlich da, wo das Angebot an Ladung nicht mehr ausreicht, um den Laderaum auch wirklich voll und häufig genug ausnutzen zu können. Das drückt sich dann darin aus, daß der Kahn zu lange auf Ladung warten oder sich mit Teilladungen begnügen muß, und daß infolgedessen die Jahreseinnahmen nicht ausreichen, um dem Schiffseigner bei angemessener Fracht außer der Deckung der Selbstkosten auch noch einen auskömmlichen Verdienst zu sichern.

Fahrzeuge mit größeren Abmessungen können daher naturgemäß nur auf solchen Wasserstraßen wirtschaftlich sein, die größere Wirtschaftsgebiete berühren. Hier läßt sich dann auch der entsprechende Ausbau der Wasserstraßen vertreten, wenn er mit erträglichen Mitteln durchführbar ist. Als Beispiel hierfür ist in erster Linie der Rhein zu nennen, der im rheinisch-westfälischen Ruhr-Kohlen- und Industriegebiet wegen seiner ausgedehnten Kohlschätze, seiner hohen Eisenproduktion und der dazu erforderlichen Erzanzuhr sowie wegen seiner engen Bevölkerung einen Verkehrzubringer und Empfänger von außerordentlichen Ausmaßen findet. Da der Rhein zudem selbst alle technischen Voraussetzungen für die Aufnahme großer Schiffe bietet, so liegt die Grenze für die Wirtschaftlichkeit der verkehrenden Schiffe verhältnismäßig hoch, nämlich in den wichtigeren Verkehrsbeziehungen im allgemeinen bei einer Tragfähigkeit von 1800 bis 2000 t. Selbst noch größere Schiffe — bis 4200 t — sind hier noch vertreten und auf dem Niederrhein im Erz- und Kohlenverkehr zwischen den Industriebahnen bei Duisburg und den holländischen Seehäfen noch wirtschaftlich. Bei diesen Verhältnissen lag das Bestreben nahe, auch auf den Seitenstraßen des Rheins, soweit sie als Zubringer oder Empfänger für den Rheinverkehr eine bedeutsame Rolle spielen, durch entsprechende Bemessung der Schleusen usw. ebenfalls den Verkehr von großen Schiffen zu ermöglichen, um Umladungen an deren Mündungen zu vermeiden und einem möglichst großen Teil der Rheinflotte eine ausgedehntere Freizügigkeit zu verschaffen. Dem ist in dem Maße Rechnung getragen worden, daß auf dem Neckar noch 1200-t-Schiffe, dem Rhein-Herne-Kanal und dem Kanal Wesel—Datteln 1350-t-Schiffe, auf dem kanalisierten Main 1600-t-Schiffe und auf der kurzen kanalisierten Ruhrstrecke bis zum Industriebahnhof der Stadt Mülheim sogar noch 2000-t-Schiffe verkehren können. Für die beiden letzteren Wasserstraßen lag ein weitergehendes Bedürfnis nicht vor, bei den übrigen wäre bei der Zulassung noch größerer Schiffe der Ausbau zu kostspielig geworden.

An sich können größere Schiffe auch für die übrigen Hauptausstrahlungen des Ruhrgebietes in den Verkehrsbeziehungen mit anderen größeren Wirtschaftsgebieten, z. B. mit dem bedeutsamen Empfangszentrum Berlin, das auch vom Osten und von den Seehäfen Hamburg und Stettin aus bedient wird und dessen Wasserverkehr im Ein- und Ausgang in normalen Jahren bereits über 10 Mill. t betragen hat, wirtschaftlich sein. Da es

Schleusenabmessungen.

Wasserstraßen	Tragfähigkeit der größten Schiffe	Nutzbare Schleusen		Zeit der Fertigstellung etwa	Bemerkungen
		Länge	Breite		
	t	m	m		
I. Zwischen Rhein und Donau.					
Neckar-Kanal	1200	110	12	1845	Im Bau
Ludwig-Kanal	127	32,10	4,47		
Rhein - Main - Donau-Wasserstraße					
Kachlet (Donau) . .	1500	230	24	1925	
Viereth (Main) . . .	1500	300	12	1925	
Main					
Aschaffenburg—Offenbach	1500	310	20	1921	Im Bau, Doppelschleusen
Offenbach—Frankfurt	1500	255	12	1891	
Frankfurt—Rhein . .	1500	{ 350 350	{ 12 15		
II. Zwischen Rhein und Weser.					
Ruhrkanalisierung von der Rheinniederung bis Mülheim	2000	350	13	1926	Zugleich 2. Mündung d. Rhein-Herne-Kanals 1350-t-Schiffe zugelassen
Rhein-Herne-Kanal .	1250	165	10	1914	
Kanal Wesel—Datteln	1350	225	12	1930	
Kanal Datteln—Hamm	700	85	10	1914	
600		67	8,6	1898	
Dortmund-Ems-Kanal	730*	165	10	1912	*Schiffe mit 67 m Länge und 8 m Breite bei 2 m Tiefgang
Staustufe Münster . .	730	225	12	1925	
Schleusen unterhalb Bevergern	730	165,173	10	1898	
2. Schleuse Hüntel . .	730	225	12	1925	
Ems-Weser-Kanal . . .	675	85	10	1914	Schachtschleuse und Oberschleuse des Südabstiegs Minden
		675	85	12,50	Unterschleuse des Südabstiegs Minden
Küstenkanal	600	105	10		Im Bau
III. Wesergebiet.					
Weser					
Schleuse Hameln . . .	600	225	12,50*		Im Bau *12,5 statt 12, weil Schleusenammer gekrümmt
Dörverden, Hemelingen	800	350	12,50	1910	
Fulda	500	60	8,60	1897	
Aller	500	165	10	1914	
IV. Zwischen Weser und Elbe.					
Weser-Elbe-Kanal . . .	1000	225	12	1928	Hindenburgschleuse Doppelschachtschleuse
Zweigkanal nach Hildesheim	1000	85	12	1928	
Saale, Unstrut—Halle . .	180	47,22	5,55	1822	Innerhalb der angegebenen Grenzen starke Abweichungen bei den einzelnen Schleusen
		bis 53,88	bis 6,11	u. später	
Saale, Halle—Elbe . . .	400	52,29	6,07	1890	
		bis 67,62	bis 6,56	u. später	
V. Zwischen Elbe und Berlin.					
Elbe-Trave-Kanal . . .	600*	80	12	1900	*Auch großes Elbschiff zulässig von 1000 t
Ihle-Plauer-Kanal . . .	650	71	8,60	1889	
	650	225	12	1930	
Untere Havel	650	220	10	1911	
Rathenow, Hauptschleuse	650	220	9,60	1901	
Rathenow, Stadtschleuse	600	71,50	8,60	1836	
Brandenburger Havel	650	213,50	10	1911	
Stadtkanal	400	70,80	7,80	?	
Vorstadtschleuse	650	67	8,60	1889	
Spandauer Havel	650	67	10	1913	
VI. Berliner Wasserstraßen.					
Spree-Mühlendamm . . .	650	115	9,60	1893	
Landwehrkanal	300	50,22	7,53	1850	
Stadtschleuse	300	50,22	7,53	1861	
Teltow-Kanal	650	67	10	1906	

Wasserstraßen	Tragfähigkeit der größten Schiffe t	Nutzbare Schleusen		Zeit der Fertigstellung etwa	Bemerkungen
		Länge m	Breite m		
VII. Berlin-Oder-Verbindungen.					
Finow-Kanal	250	40,70 bis 46,10	5,30 bis 5,97	1767	
Hohenzollern-Kanal .	650	85 67	10 10	1913 1913	
Ostschleuse Hohensaathen	650	214,40	10	1913	
Oder-Spree-Kanal					
Untere Spree, Charlottenburg	650	160,03 180,18	9,50 9,50	1885 1885	
Fürstenwalder Spree	650	67,70	8,60	1891	
2. Mündung Fürstenberg	650	130	12	1929	Zwillings-Schachtschleuse
VIII. Oder.					
Kosel-Neiße-Mündung . .	500 500	55 180	9,60 9,60	1897 1915	Zugelassen Großplauer Maßlast mit 650 t, kann zumeist nur bei 1,50 m Tiefgang auf 500 t abladen
Neißemündung Breslau .	500	180	9,50	1915	
Ransern	500 500	205 225	12 12	1917	Geplant
IX. Oder-Weichsel-Wasserstraße . .					
	400	57,40	9,60	1915	
X. Weichselgebiet.					
Nogat	400	57,40	9,60	1915	
Masurischer Kanal . . .	250	45	7,50		Geplant

sich hier aber zumeist um künstliche Wasserwege handelt, deren Bau- und Unterhaltungskosten mit den Abmessungen in verhältnismäßig hohem Maße wachsen, so wird hier über das 1000-t-Schiff als äußerste Grenze nicht hinausgegangen werden dürfen. Da, wo besonders große Verkehrszentren und Seehäfen im allgemeinen nicht oder entweder nur zur Aufnahme oder nur zur Abgabe der Ladung berührt werden, genügt schon das 600- bis 800-t-Schiff allen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu stellenden Forderungen. Für viele kleinere Nebenwasserstraßen ist aber auch dieses Maß noch zu groß. Hier geht die Tragfähigkeit der gewinnbringenden Regelschiffe stellenweise bis auf 200 t herunter, Naturgemäß spielen bei der Bestimmung der in jedem Falle maßgebenden Schiffgröße außer den der Wirtschaftlichkeitsfrage beeinflussenden Verkehrsbeziehungen namentlich auch die Rücksichten auf die im Zuge des Verkehrsweges liegenden natürlichen Flußläufe, deren Eigenarten oft einen über bestimmte Ausmaße hinausgehenden Ausbau ausschließen, eine wesentliche, oft ausschlaggebende Rolle.

Alle diese Fragen sollten sorgfältig geprüft werden, bevor die Abmessungen einer neuen Schleuse endgültig festgelegt werden. Dann aber sollten alle Schleusen, die in dieser oder ähnlich gelagerten Verkehrslinien neu erbaut werden, die gleichen Abmessungen erhalten und gleichlautende Bestimmungen hinsichtlich der zugelassenen äußersten Schiffsabmessungen in den maßgebenden Schiffsfahrtpolizeiverordnungen erlassen und ausnahmslos eingehalten werden. Nur auf diesem Wege kann erreicht werden, daß sich für bestimmte Verkehrsbeziehungen innerhalb des Wasserstraßennetzes bestimmte gangbare und den Schifffahrtanlagen angepaßte Schiffstypen allmählich einbürgern und im Laufe der Zeit einheitliche Verkehrsverhältnisse herausbilden, während umgekehrt, wie es bisher der Fall war, jede Möglichkeit, einen neuen größeren Schiffstyp in den Verkehr zu bringen, ausgenutzt wird und dann die neuen Schleusen hinsichtlich ihrer Abmessungen wiederum den dadurch geschaffenen neuen Anforderungen angepaßt oder neue größere Schleusen neben den vorhandenen, nun nicht mehr ausreichenden hergestellt werden müssen. Im Bereiche des nordostdeutschen Wasserstraßennetzes ist vor dem Weltkriege bereits diesen Grundsätzen entsprochen worden, indem in der Oder-Weichsel-Wasserstraße, der Netze, dem Bromberger Kanal und der Brahe sowie in der Nogat nur Schleusen von gleichen Abmessungen, nämlich von 57,4 m Länge und 9,6 m Breite neu errichtet wurden. Sie dienen dort dem Verkehr des in jenem Gebiete gebräuchlichen 400-t-Schiffs. Ferner wurden nach dem Kriege in den durchgehenden wichtigen Wasserstraßen zwischen dem Rhein und der Oder fast nur noch Schleppzugschleusen von 225 m Länge und 12 m lichter Breite ausgeführt. Mit diesen Abmessungen dürfte allen Anforderungen der Schifffahrt im mittleren Deutschland in großzügiger Weise Rechnung getragen sein. Einer weiteren unerwünschten Entwicklung ist damit aber nur dann ein Ziel gesetzt, wenn

die Schifffahrt nicht im Zweifel darüber gelassen wird, daß auch in Zukunft in ähnlichen Wasserstraßen unbedingt an diesen äußersten Abmessungen sowie an den Bestimmungen bezüglich der zum Verkehr zugelassenen äußersten Schiffsgrößen festgehalten werden wird. In anderen weniger wichtigen Wasserstraßen könnte durch einheitliche Festlegung entsprechend geringerer Abmessungen für alle Schleusenneubauten leicht in gleichem Sinne gewirkt werden.

Es sei hier auf das Beispiel Frankreichs hingewiesen, in dessen insgesamt 7737 km langem Wasserstraßennetz rd. 1663 km kanalisierte Flüsse und 3630 km Kanäle ausschließlich für sogenannte Péniches ausgebaut und bemessen sind, die je nach der Bedeutung des betreffenden Verkehrsweges 280 oder 400 t Tragfähigkeit besitzen. Nur soweit der Verkehr durch benachbarte größere Ströme oder durch die Nähe der See beeinflusst wird, ist bei der Bemessung der Schleusen den jeweiligen weitergehenden Bedürfnissen Rechnung getragen worden.

Grundrißform der Kammer.

Die gebräuchlichste Form ist die, bei der die Kammer seitlich durch senkrechte oder wenigstens nahezu senkrechte Wände begrenzt und die nutzbare Breite so bemessen ist, daß in der Kammer entweder nur ein Schiff von den größten zugelassenen Abmessungen Platz findet oder mehrere solcher Schiffe nur hintereinander, nicht nebeneinander liegen können. Für Kanäle und sonstige Wasserstraßen, in denen es an Speisewasser mangelt, kommt diese Form allein in Betracht, da sie die geringste Wassermenge verbraucht. Auch sonst hat sie mancherlei Vorteile. So bietet sie dem Schiffer die beste Übersicht über die Wasserfläche und eine sichere Führung für sein Schiff an den senkrechten glatten Wänden; die leichte Erreichbarkeit und bequeme Handhabung der Haltekreuze erleichtert ihm den Schutz seines Fahrzeuges vor Beschädigungen bei steigendem oder fallendem Kammerwasserstande. Wesentlich ist auch, daß der Zeitaufwand für die Füllung und Entleerung der Kammer geringer ist als bei allen anderen Formen.

Beiläufig sei bemerkt, daß an die Stelle eines der größten zugelassenen Schiffe auch zwei kleinere Kähne treten können, deren Gesamtbreite oft nur unwesentlich von der Breite der größten zugelassenen Schiffe abweicht, und die oft im Schleppzuge nebeneinander gekoppelt verkehren.

Schleusenkammern mit geböschten Seitenbegrenzungen sind schon wegen ihres großen Wasserverbrauchs weniger zu empfehlen. Sie sollten nur da angewendet werden, wo die nötige Wassermenge vorhanden ist und notgedrungen mehr Wert auf Kostenersparnis bei der Bauausführung als auf schnelle Verkehrsabwicklung gelegt werden muß. Im Betriebe ist diese Form sehr schwerfällig, und für die Schifffahrt bietet sie keine besonderen Vorteile. Selbst der größere Kammerwasserquerschnitt und der dadurch bedingte geringere Wasserwiderstand bei der Einfahrt in die Kammer fällt nicht ins Gewicht, da in der Kammer allgemein nur mit geringer Geschwindigkeit gefahren werden darf und die unvermeidlichen offenen Leitwerke erhöhte Vorsicht erfordern.

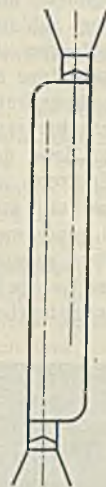


Abb. 1.
Schema für die Grundrißanordnung einer Schleppzugschleuse für zwei nebeneinanderliegende Schleppzüge.

Daneben kommen sowohl bei senkrechten als auch bei geböschten Kammerbegrenzungen noch Formen vor, bei denen mehrere Kähne oder Schleppzüge mit den größten zugelassenen Breitenabmessungen nebeneinander in der Kammer Platz finden (Abb. 1). Torweile ist dann aber nicht gleich nutzbarer Kammerbreite. Vielmehr sind die Tore nur für die Durchfahrt eines der größten Kähne ausreichend bemessen, sie liegen überdies zumeist nicht in derselben Längslinie, sondern sind versetzt zueinander an der Seite so angeordnet, daß eine der beiden Seitenwände der Einfahrt und die entsprechende Kammerwand eine Linie bilden.

Solche Formen eignen sich nur für andauernden starken Verkehr, bei dem Sicherheit dafür besteht, daß die Kammer bei jedem Schließvorgang ohne Wartezeit voll belegt ist, so daß kein überflüssiger Wasserverbrauch entsteht und der bei der Durchfahrt zweier Schleppzüge immerhin vertretbare verlängerte Zeitaufwand für das Füllen und Entleeren der Kammer nicht unausgenutzt veran wird. Es sei denn, daß eine zweite Schleuse mit nur einer Schiffsbreite verfügbar ist, so daß je nach Andrang die eine oder die andere Schleuse verwendet werden kann.

Mag vom Standpunkte des Betriebes hiergegen unter den genannten Voraussetzungen, namentlich bei Schleusen von einer Kahnlänge, ernstlich nichts einzuwenden sein, so erwachsen bei Schleppzugschleusen der Schifffahrt doch mancherlei Nachteile. Unbequem ist vor allem, daß die Schleppzüge entweder vor dem Festlegen in der Kammer oder vor der Ausfahrt eine seitliche Bewegung ausführen müssen, und daß der zuletzt einfahrende oder zuerst ausfahrende Schleppzug auf den anderen in der Kammer liegenden Schleppzug Rücksicht zu nehmen hat. Das kann

namentlich bei Seitenwinden, wenn der Kammerspiegel auf Oberwasser steht, mit großen Schwierigkeiten und Gefahren verknüpft sein. Wenn zwar die Schiffer, wie die Erfahrung lehrt, sich hieran mit der Zeit gewöhnen und mit den Unbequemlichkeiten abfinden können, so bleibt für den einzelnen Schleppzug doch immer noch der Nachteil eines recht fühlbaren größeren Zeitverlustes übrig, der durch die Ein- und Ausfahrt zweier Schleppzüge hintereinander und durch die seitliche Bewegung in der Kammer sowie auch durch die Füllung und Entleerung der Kammer bei doppelter Wassermenge entsteht und nahezu doppelt so groß ist wie der bei einer gewöhnlichen Schleppzugschleuse auf einen Schleusungsvorgang kommende Zeitaufwand.

Die Schifffahrt ist also bei der genannten Schleusenordnung außer mit beträchtlichen Unbequemlichkeiten noch mit einer Einbuße an Reisezeit belastet, die doppelt so groß ist wie an jeder anderen Schleuse. Für manche Verkehrsbeziehung ist dieser Umstand ausschlaggebend. Die Schleuse ist nicht Selbstzweck, sondern Mittel zum Zweck. Maßnahmen, die den Zweck, in diesem Falle die Schifffahrt, erschweren, sollten deshalb vermieden werden, selbst wenn sich auf der anderen Seite durch diese Maßnahmen Vorteile in betrieblicher Hinsicht ergeben sollten. Im Zweifelsfalle müssen die beiderseitigen Belange, die des Betriebes und die der Schifffahrt, gegeneinander abgewogen werden.

Besonderer Erwähnung bedarf hier noch eine am Voßkanal im Bezirk der Märkischen Wasserstraßen neuerdings erprobte Grundrißform. Hier hat die alte, nur für einen Finowkahn bemessene Schleusenammer an einer der beiden Längsseiten eine Nische erhalten, die für ein kleineres Fahrzeug (Motorschiff, Bereitungsboot u. dgl.) und für Sportboote ausreichend Platz bietet, so daß solche Fahrzeuge jetzt gleichzeitig mit einem Finowkahn geschleust werden können (Abb. 2). Bemerkenswert ist hierbei die nahezu vollkommen ruhige Lage selbst der kleinsten in der Nische liegenden Sportboote während des Füllens der Kammer.

Doppelschleusen.

Stellt sich heraus, daß eine Einzelschleuse mit einschiffiger Kammer hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit den zu erwartenden Anforderungen des Verkehrs nicht genügt, so entsteht die Frage, ob in dem betreffenden Falle eine Doppelschleuse oder eine Schleppzugschleuse vorzuziehen ist. Bei Einzelschleusen besteht der Nachteil, daß der ganze Verkehr unterbrochen werden muß, wenn die einzige vorhandene Schleuse zu Unterhaltungszwecken oder zur Behebung eines Schadens vorübergehend stillgelegt wird, während bei Doppelschleusen wenigstens eine Schleuse immer zur Verfügung steht. Außerdem kann bei Doppelschleusen der Zeitpunkt für vorsorgliche Überholungen gewählt und der Verkehrslage angepaßt werden. Eine Einzelschleuse dagegen kann nur an verkehrsfreien Sonntagen notdürftig nachgesehen und nur in natürlichen Verkehrsperren zur Eiszeit gründlich überholt werden, soweit die Witterung dann derartige Arbeiten überhaupt gestattet. Bleiben dann solche Sperren, was oft beobachtet wird, in mehreren Wintern hintereinander aus, und wird die Schleuse dauernd durch den Verkehr stark in Anspruch genommen, so kann es vorkommen, daß ihre Einrichtungen in einen Zustand geraten, in dem sie schließlich versagen und dann ein Stilllegen der ganzen Anlage für langwierige und kostspielige Wiederherstellungsarbeiten notwendig machen.

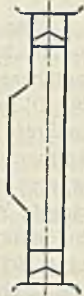


Abb. 2.
Neue
Grundriß-
anordnung
am Voß-
kanal.

Bei Schifffahrtstraßen mit bedeutendem Verkehr, um die es sich immer handeln wird, wenn diese Frage überhaupt auftaucht, sollten deshalb eigentlich stets Doppelschleusen gewählt werden. Genügt eine Schleuse für die Anforderungen im Anfangsverkehr einer neuen Anlage für eine Reihe von Jahren, so ist gewiß nichts dagegen einzuwenden, daß der Bau der zweiten Schleuse einstweilen zurückgestellt wird und die hohen Kosten noch gespart werden. Dieser Zustand sollte aber gleich von vornherein als vorübergehender angesehen und bei der Entwurfsbearbeitung der spätere Bau der zweiten Schleuse berücksichtigt werden. Dabei muß der Platz für die zweite Schleuse so gewählt werden, daß bei deren späterem Bau genügend Spielraum zwischen den beiden Kammern für die Herstellung der Baugrube und zur ausreichenden Sicherung und Abdichtung des bestehenden Bauwerks verfügbar bleibt.

Ob die beiden Kammern als einschiffige oder als Schleppzugschleusen bemessen werden, ist Sache der jedesmaligen Prüfung und richtet sich nach der Größe des Verkehrs und namentlich auch danach, ob vorwiegend Schleppzüge oder Selbstfahrer und sonstige Einzelfahrer verkehren. Unter Umständen kann es sich auch empfehlen, für Schleppzüge eine lange und daneben gleichzeitig eine einschiffige Schleuse für Einzelfahrer zu errichten, wenn hiermit den Anforderungen genügt ist und eine solche Anlage sich in Ansehung aller Umstände als wirtschaftlich und zweckmäßig erweist.

Der Ersatz einer Doppelschleuse durch eine längere Schleuse mit drei Häuptern, bei der zwei Kammern hintereinander angeordnet sind, kommt ernstlich nicht in Betracht. Wohl kann es vorteilhaft sein, eine Schleuse im Interesse der Zeitersparnis oder zur Einschränkung des Wasserverbrauchs durch ein mittleres Haupt in zwei Kammern zu teilen, wenn der Verkehr unregelmäßig ist, mit Schleppzügen von verschiedenen Längen gerechnet werden muß oder die Möglichkeit der gleichzeitigen Schleusung zweier Schleppzüge geschaffen werden soll. Aus den eingangs angegebenen Gründen sollte dann aber stets eine zweite Schleuse daneben angeordnet oder wenigstens für später in Aussicht genommen werden.

Schachtschleuse und Hebewerk.

Von den im vorangehenden Abschnitt behandelten Kammerformen kommt diejenige mit geböschten Seitenwänden nur bei geringen Gefällhöhen bis etwa 3 m in Betracht, da sonst der Wasserverbrauch und die auf die Füllung und Entleerung der Kammer verwendete Zeit Ausmaße annehmen würden, die vom betriebs- und verkehrswirtschaftlichen Standpunkte aus nicht mehr vertretbar sind. Auch von den für mehrere Schiffsbreiten bemessenen Kammern wird bei größeren Gefällhöhen aus den gleichen Gründen besser ganz abgesehen. Es bleibt dann also nur noch die für eine Schiffsbreite bemessene Kammer mit senkrechten Seitenwänden.

Allen diesen Formen ist gemeinsam, daß die Durchfahrt durch das Untertor nur unten und an den Seiten begrenzt, also oben offen ist. Bei größeren Gefällhöhen, etwa von 10 bis 11 m ab, tritt darin insofern eine Änderung ein, als dann der Verschlusskörper im Untertor zu ungünstigen Abmessungen annimmt und es sich deshalb empfiehlt, nur eine Durchfahrt in der jeweils maßgebenden lichten Höhe über dem Unterwasserspiegel freizuhalten und den darüberliegenden Teil der Kammer durch eine Mauer abzuschließen. Es entsteht sodann die Schachtschleuse.

Steigt die Gefällhöhe noch weiter, so tritt das Hebewerk in den Bereich der Wettbewerbsfähigkeit ein, und die Schachtschleuse scheidet dann — bei etwa 15 m Gefällhöhe — schon aus wirtschaftlichen Gründen aus. Dabei fällt zuungunsten der Schachtschleuse der Umstand schwer ins Gewicht, daß bei solchen Gefällhöhen stets auf größtmögliche Einschränkung des Wasserverbrauchs Wert gelegt werden muß, und daß die hierzu erforderlichen Maßnahmen bei der Schachtschleuse ganz wesentliche Kosten verursachen, während solche Maßnahmen bei Hebewerken ganz fortfallen, weil der Wasserverbrauch bei ihnen ohnehin gleich Null ist.

Beim Bau des Dortmund-Ems-Kanals sah man sich in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts vor die Aufgabe gestellt, zwei Kanalhaltungen von größerem Höhenunterschiede — 14 m — durch eine Schleuse miteinander zu verbinden, die einem größeren Verkehr gewachsen sein mußte. Vorbilder waren in Deutschland in den schiefen Ebenen des Oberländer Kanals und im Auslande in einigen Schachtschleusen und Hebewerken vorhanden. Schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde der Lösung dieser Frage großes Interesse entgegengebracht. Es entstand eine Reihe erst zu nehmender Entwürfe, unter denen das auf dem Schwimmersystem beruhende senkrechte Hebewerk die Oberhand gewann. Bei einem Wettbewerbe wurde einem auf diesem System aufgebauten Entwurf der Firma Haniel & Lueg der 1. Preis zuerkannt. So ent-

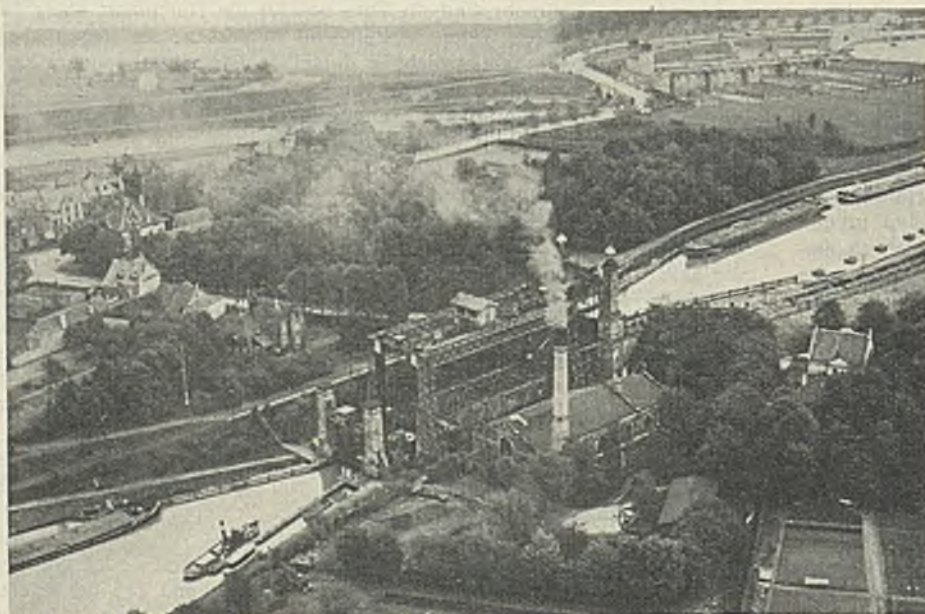


Abb. 3. Henrichenburger Hebewerk am Dortmund-Ems-Kanal.

stand das mit Hilfe von vier Schraubenspindeln bewegte und geführte Schwimmerhebewerk Henrichenburg¹⁾, das die Haltung Münster des Dortmund-Ems-Kanals mit der um 14 m höher gelegenen und im Dortmunder Hafen endigenden Kanalstrecke verbindet, für den Verkehr von 730-t-Schiffen bemessen ist und die an dieser Stelle wegen der Wasserarmut der Dortmunder Haltung besonders wichtige Frage der Wasserersparnis in bester Weise löst (Abb. 3). Dieses Hebewerk ist heute 32 Jahre im Betriebe, ohne jemals einen nennenswerten Betriebsunfall erlebt zu haben und ohne aus anderen Gründen als zu gewöhnlichen Unterhaltungszwecken hin und wieder einige Tage stillgelegt worden zu sein. Es ist billig im Betriebe und hat bisher allen Verkehrsanforderungen auch bei stärkster Beanspruchung spielend genügt. Obwohl der Trog nur ein Fahrzeug von größeren Abmessungen aufnimmt, erfährt ein Schleppzug an dieser Staustufe kaum einen größeren Aufenthalt als bei jeder Schleppzugschleuse mit wesentlich geringererem Gefälle. Das in Henrichenburg angewendete System steht aus allen diesen Gründen sowohl bei der Fachwelt als auch bei der Schifffahrt in hohem Ansehen.



Abb. 4. Schachtschleuse Henrichenburg am Dortmund-Ems-Kanal.

Gleich nach Fertigstellung des Hebewerks trug sich die Verwaltung mit dem Gedanken, neben ihm eine zweite Anlage zu errichten, um für den Fall des Versagens des Hebewerks einen Ersatz zu haben. Die zweite Anlage sollte zudem größere Abmessungen erhalten, da die Trogmaße des Hebewerks nicht für alle auf dem Dortmund-Ems-Kanal verkehrenden Schiffe ausreichten. In die Zeit der Überlegung fiel der vom österreichischen Handelsministerium in Wien ausgeschriebene Ideenwettbewerb für eine Schiffshebeeinrichtung an der 35,9 m hohen Gefällhöhe im Zuge des Donau-Oder-Kanals bei Prerau in Mähren, bei dem einer Längsebene der 1. und einer drehbaren und auf dem Unterwasser schwimmenden Trommel mit zwei als Schiffstrog dienenden Röhren der 2. Preis zuerkannt wurde²⁾ und der auch sonst unter den etwa 30 Entwürfen eine Reihe wertvoller Anregungen für die Ausführung senkrechter Hebewerke zeitigte. Diesmal fiel die Entscheidung aber, da das Hebewerk Henrichenburg noch nicht lange genug im Betriebe war, um jeden Zweifel bezüglich seiner dauernden Bewährung auszuschließen, zugunsten der Schachtschleuse, der ersten, die in Deutschland erbaut wurde. Da diese neue Anlage infolge der zu beiden Seiten angeordneten je 5 Sparbecken sehr viel weniger leistet und im Betriebe auch wesentlich teurer ist, ganz abgesehen davon, daß eine immerhin noch ins Gewicht fallende Wassermenge verloren geht und nach jedem Schleusungsvorgang in die obere Haltung zurückgepumpt werden muß, so wird sie nur dann in den Verkehr eingeschaltet, wenn die Größe der Fahrzeuge es erfordert oder das Hebewerk zeitweise stillgelegt ist. Im letzteren Falle traten oft Verkehrsstockungen auf, weil die Schachtschleuse den Anforderungen allein nicht gewachsen ist (Abb. 4).

Bei der wenig später erbauten Schachtschleuse bei Minden³⁾ sind statt der offenen Sparbecken Sparrkammern in den Seitenmauern untergebracht worden und, da sich diese Bauart bewährte, ist sie bei der Doppelschachtschleuse Anderten⁴⁾ im Zuge des Mittellandkanals ebenfalls zur Anwendung gekommen. Bei der gleichzeitig errichteten Zwillings-

schachtschleuse im Oder-Spree-Kanal bei Fürstenberg sind die beiden Kammern insofern voneinander abhängig, als sich die Wasserstände in den beiden Kammern zunächst ausgleichen und dann die eine Kammer nach Unterwasser vollends entleert wird, während die andere vom Oberwasser aus nachgefüllt wird. Dieses System ist, da der Wasserverbrauch bei jeder Schleusung nur auf die Hälfte eingeschränkt ist, nur bei Wasserstraßen mit ausreichender Speisewassermenge anwendbar. Ein Nachteil besteht außerdem darin, daß die Anlage nur dann wirtschaftlich arbeitet, wenn stets beide Kammern mit Fahrzeugen belegt sind, und daß bei Verwendung nur einer der beiden Schleusenammern eine Wasserersparnis überhaupt ausscheidet.

Alle bisher genannten Bauwerke weisen eine Gefällhöhe von 14 bis 15 m auf. Infolgedessen sah sich die Reichswasserstraßenverwaltung wiederum vor eine verantwortungsvolle neue Entscheidung gestellt, als es sich darum handelte, neben der insgesamt eine Gefällhöhe von 36 m überwindenden Schleusentreppe im Zuge des Hohenzollernkanals bei Niederfinow eine neue Anlage zu schaffen, um bei etwaigen Stilllegungen der Schleusentreppe Ersatz zu haben. Eine Schachtschleuse kam bei dieser Gefällhöhe nicht in Betracht, ebensowenig das bei Henrichenburg ausgetestete Schwimmersystem, da bei solcher Druckhöhe die Schwimmerkörper zu stark beansprucht und die Schwimmer zu teuer werden würden. Nach langjährigen Untersuchungen hat sich die Reichswasserstraßenverwaltung in diesem Falle wieder für ein Hebewerk entschieden, nachdem durch die Loebellsche Erfindung die Möglichkeit einer Aufhebung des Troggewichts durch Gegengewichte, deren Trogseile über oben am Führungsgestell angebrachte Seilscheiben laufen, geschaffen und der Weg für die Anwendung der auch in Henrichenburg bewährten Spindelführung auf diese Weise geebnet war⁵⁾. Dadurch ist auch das letzte Hindernis für eine freie Wahl des Systems bei allen Gefällhöhen und sonstigen Verhältnissen beseitigt.

Bevor sich die Verwaltung für das Hebewerk Niederfinow entschied, ist eine Reihe anderer Konstruktionen zum Teil sehr ernsthaft erwogen worden. Zuletzt handelte es sich dabei in erster Linie um die Frage, ob Naß- oder Trockenförderung vorzuziehen sei, ob also das zu schleusende Schiff schwimmend in einem Wassertrog oder trocken auf einem mehr oder weniger elastischen Rost liegend von der einen zur anderen Haltung gehoben oder gesenkt werden soll. Beide Systeme haben zweifellos ihre Vorzüge. Im Interesse der Schifffahrt ist es aber zu begrüßen, daß sich die Naßförderung durchgesetzt hat, denn es liegt auf der Hand, daß die senkrechte Hebung und Senkung im Troge wesentlich weniger Zeit in Anspruch nimmt als die Hebung des Rostes bis über die Höhe des anderen Wasserspiegels, die waagerechte Verschiebung und das Hinabtauchen des Rostes in die andere Haltung. Darin liegt der für die Schifffahrt wesentliche Vorteil der Naßförderung.

Wenn man sich für Niederfinow trotz der großen Gefällhöhe von 36 m für das senkrechte Hebewerk entschieden hat, so liegt darin der Beweis dafür, daß die Scheu vor derartigen Anlagen jetzt endgültig überwunden ist. Vom rein technischen Standpunkte aus bieten sich keinerlei Bedenken mehr gegen das eine oder andere System, abgesehen davon, daß die Schachtschleuse bei einer gewissen Gefällhöhe ausscheiden muß. Im übrigen sind also die jeweiligen örtlichen Verhältnisse entscheidend. Maßgebend sind die Bodenverhältnisse, der Grad der Spelungsmöglichkeiten, die Leistungsfähigkeit, die Kosten der Güterbeförderung, die Betriebssicherheit, die von der Höhe der Anlagekosten abhängige Wirtschaftlichkeit und schließlich die Bedürfnisse der Schifffahrt auf der verkehrswirtschaftlichen Seite. Die Wahl wird lediglich von einem Vergleich der verschiedenen Ergebnisse und einer Abwägung der verschiedenen Vor- und Nachteile gegeneinander abhängen. Solche Untersuchungen haben in neuerer Zeit bereits dazu geführt, daß am Mittellandkanal für die Abstiege zu beiden Seiten der Kanalbrücke über die Elbe nach Rothensee und Niegripp wegen der dort vorgefundenen günstigen Bodenverhältnisse das senkrechte Hebewerk nach Art des Henrichenburger Hebewerks, allerdings mit nur 2 Schwimmern statt mit deren 5, und für Henrichenburg im Falle des Ausbaues des Dortmund-Ems-Kanals für große Schiffe ebenfalls ein neues Hebewerk als dritte Anlage in Aussicht genommen sind.

Mit den hier beschriebenen Bauarten sind die Möglichkeiten für die Formgebung der Schleuse aber noch keineswegs erschöpft. Gerade hier bietet sich für den Erfindergeist des Ingenieurs noch ein weites und lohnendes Betätigungsfeld. Zum Beweise hierfür soll nur nebenher z. B. auf die Veröffentlichung Sympher u. Helmershausen über Schiffbarmachung von Flüssen durch Stauschleusen in der Z. f. Bauwes. 1914, S. 119 u. f., sowie auf die Aufsätze von Rothmund über Schleusen ohne Wasserverbrauch in der Bautechn. 1929, S. 300 u. f., und Proetel über Neuartige Speicherschleusen mit hohem Gefälle und gesteigerter Wasserersparnis für den Aachen-Rhein-Kanal im Bauing. 1929, S. 457 u. f., hingewiesen werden.

⁵⁾ Vgl. Ellerbeck, Entwurf für das Schiffshebewerk bei Niederfinow, Z. d. V d I 1927, S. 787.

¹⁾ Vgl. B. Gordon, Ztrbl. d. Bauv. 1895.

²⁾ Vgl. Ztrbl. d. Bauv. 1905.

³⁾ Vgl. Loebell u. Gericke, Die Bauten des Ems-Weser-Kanals in der Weserniederung bei Minden i. W., Z. f. Bauwes. 1921, S. 238.

⁴⁾ Vgl. Schonk u. Rütgerodt, Die neuen Schleusen des Mittellandkanals bei Hannover, Bautechn. 1928, S. 345.

Ausbildung der Vorhäfen.

Besondere Sorgfalt muß auf die Ausbildung der Vorhäfen verwendet werden, weil hier die Möglichkeit, den für die Schifffahrt durch den Aufenthalt an der Schleuse entstehenden Zeitverlust einzuschränken, besonders groß ist und gerade in den Vorhafen die größten Gefahrenquellen bestehen, deren Beseitigung im Interesse der Schifffahrt angestrebt werden muß. Häufige Schiffsansammlungen machen hier fast immer vor der Schleusung rege Schiffsbewegungen notwendig, die um so gefahrbringender sind, je weniger Wasserfläche zur Verfügung steht; dabei fällt ins Gewicht, daß die Bewegungsmanöver hier nur mit geringer Geschwindigkeit ausgeführt werden können und deshalb die an und für sich schon unbequemen Wasserströmungen und Seitenwinde sich besonders stark fühlbar machen, und daß ferner bei der Einfahrt in das enge Schleusentor leicht Havarien an den Mauerkanten entstehen können. Je schneller der Betrieb sich abwickeln soll, um so höher steigen die Gefahren und um so dringlicher muß auf Bewegungsfreiheit für die Schiffe und ihre sichere Führung Wert gelegt werden (Abb. 5).

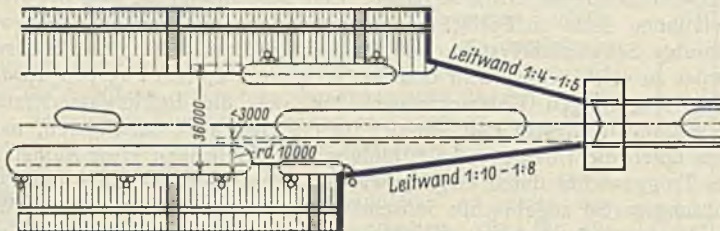


Abb. 5. Schematische Darstellung eines Schleusenvorhafens.

Inwieweit die Ein- und Ausfahrt der Fahrzeuge in die Schleuse und aus ihr heraus die Schnelligkeit des Schleusenvorgangs beeinflusst, geht aus der nachstehenden Zusammenstellung der auf die Einzelvorgänge entfallenden Zeiträume hervor⁹⁾. Die Vorgänge sind an einer Staustufe des Rhein-Herne-Kanals mit einer Kammer von 165 m Länge, 10 m Breite und 5 m Gefälle beobachtet worden.

a) Zwei bis drei hintereinander fahrende beladene Kähne werden mittels Schleppwagen in die Kammer hineingezogen (Weglänge 275 m)	10 min
b) Abstoppen, Abstandnehmen und Festmachen, gleichzeitig Schließen der Tore und Schützen	5 „
c) Absenken des Wasserspiegels um 5 m	7 „
d) Öffnen des Tores	1 „
e) Ausfahren bis zum Freiwerden der Schleuseneinfahrt für die begegnenden Kähne	6 „
f) Hineinziehen von zwei bis drei leeren Kähnen vom Leitwerk in die Schleusenkammer mittels Schleppwagen auf eine Weglänge von 275 m	6½ „
g) Abstoppen, Abstandhalten und Festmachen, gleichzeitig Schließen des Tores und der Schützen	4 „
h) Hochschleusen um 5 m	9 „
i) Öffnen des Tores	1½ „
k) Ausfahren der leeren Kähne	4 „
insgesamt	54 min

Von 54 min Doppelschleusungszeit entfallen hiernach 35½ min oder 66% auf die Schiffsbewegungen und auf die übrigen Vorgänge nur 18½ min oder 34%. Es handelt sich bei dem aufgeführten Beispiel aber um einen besonders günstigen Vorgang bei glatter Abwicklung. Während die Torbewegung sowie die Füllung und Entleerung der Kammer im allgemeinen keinen Zufälligkeiten unterworfen sind, treten bei den Schiffsbewegungen namentlich außerhalb der Schleusenkammer häufig Störungen auf, durch die die Gesamtzeit der Schleusung mehr oder weniger empfindlich verlängert wird. Es gehört schon sehr viel Gewandtheit der Schiffer in der Führung der Fahrzeuge und große Erfahrung und Umsicht der Schleusenbeamten dazu, solche Störungen bei der Verkehrsabwicklung zu verhindern. Andererseits kann aber die Gesamtzeit des Schleusungsvorganges durch geschickte Anordnung des Vorhafens und seiner Einrichtungen wesentlich eingeschränkt werden. Störungen können auf ein Mindestmaß herabgesetzt und die einzelnen Vorgänge beschleunigt werden.

Dazu gehört vor allem, daß die zur Verfügung stehende Wasserfläche ausreichend bemessen ist, um den Schiffen eine genügende Bewegungsfreiheit zu sichern, so daß die Fahrgeschwindigkeit vergrößert werden kann, ohne daß Behinderungen oder Gefährdungen durch die sonst noch im Hafen liegenden Schiffe, durch begegnende Schleppzüge od. dgl., namentlich bei ungünstigen Seitenwinden usw., befürchtet werden müssen.

Der Vorhafen soll aus diesen Gründen für jede Schleuse im allgemeinen eine Breite erhalten, die der Gesamtbreite von drei der größten

vorkommenden Schiffe, vermehrt um zwei Spielräume von je 3 m, entspricht. Eine Schiffsbreite dient als Liegestelle für das auf Schleusung wartende Schiff an der Einfahrtseite, eine als Fahrstraße für das aus der Schleuse ausfahrende Schiff, in der Mitte und so gelegen, daß die Achse dieser Fahrstraße möglichst mit der Schleusenachse zusammenfällt, und eine als zweite Liegestelle für Eilschiffe oder sonstige mit Vorrang verkehrende Schiffe an der anderen Seite des Vorhafens. An jeder der beiden Seiten eine Liegestelle vorzusehen, empfiehlt sich schon deshalb, weil hierbei das auf Schleusung wartende Schiff seine Lage je nach der Windrichtung selbst auswählen kann, soweit nicht eine Seite für besondere Zwecke freigehalten werden muß. Ist der Verkehr so groß, daß eine Schiffsliegestelle an jeder Seite nicht ausreicht, so muß die Länge des Vorhafens so bemessen sein, daß die Schiffe hintereinander am Ufer anlegen können. Sie rücken dann nach, sobald die vordere Liegestelle freigeworden ist, so daß die Einfahrt stets von der der Schleuse am nächsten gelegenen Liegestelle stattfinden kann. Zwei Liegestellen nebeneinander anzuordnen empfiehlt sich nicht, weil hierbei das nach dem Schleusenrang zunächst zur Schleusung gelangende Schiff leicht durch ein danebenliegendes in seiner Bewegung behindert ist und oft schwierige und gefahrvolle Manöver zu seiner Befreiung notwendig werden. Eine Einschränkung der Vorhafenbreite auf nur zwei Schiffsbreiten kommt nur da in Frage, wo der Betrieb sehr regelmäßig verläuft, also z. B. in einer von Umschlaganlagen freien Strecke mit mehreren Schleusen, die in ihrem Betriebe voneinander so abhängig sind, daß sich gleichzeitig an jeder der Schleusen in jeder Richtung immer nur eine Verkehrseinheit zur Schleusung einfinden kann.

Bei der Anordnung des oberen Vorhafens einer Flußschleuse ist zu beachten, daß die Einfahrt aus dem Strom in das ruhige Fahrwasser der stromaufwärts gerichteten Vorhafenmündung für Schleppzüge mit gewissen Gefahren verknüpft ist, da die letzten Anhänger bei ungenügender Führung von der Strömung mitgerissen und gegen die Trennungsmole am Eingang des Vorhafens getrieben werden können. Der Schleppzug muß deshalb in voller Länge mit der für eine glatte Einfahrt erforderlichen Fahrgeschwindigkeit und mit gespannten Trossen aus der Strömung in den Vorhafen gelangen können und dann noch genügend Länge zum Abstoppen und Auslaufen vorfinden. Dadurch wird dann zugleich auch verhindert, daß die einzelnen Anhänger im Vorhafen auf die Vorderschiffe auflaufen. Der Vorhafen muß hiernach wenigstens anderthalbmal so lang sein wie der größte vorkommende Schleppzug.

Auch die Lage der Hafenmündung muß in diesem Falle eingehend erwogen und dabei der Wasserführung, der Stromgeschwindigkeit und der Stromrichtung sorgfältig Rechnung getragen werden, namentlich dann, wenn der Stromstrich bei den verschiedenen Wasserständen des Stromes wechselt. Der Schiffer fürchtet nichts mehr als die oft an dieser Stelle auftretenden Querströmungen, da sie in Verbindung mit den dauernd wechselnden Stromgeschwindigkeiten und Schiffswiderständen in der Übergangsstrecke die Steuerung außerordentlich erschweren können. In manchen Fällen wird ohne Modellversuche kaum auszukommen sein.

Bei dem unteren Vorhafen der Flußschleuse sind solche Rücksichten nicht nötig, weil die Einfahrt hier gegen den Strom gerichtet und deshalb wesentlich einfacher und ungefährlicher ist als die in den oberen Vorhafen.

Besonders wichtig sind ferner die Anlagen, die zur Beschleunigung und Erleichterung der Durchfahrt durch die Schleuse dienen. Der Schlepper eines aus der Schleusenkammer ausfahrenden Schleppzuges kann nicht gleich hinter dem Schleusenaupt seitlich ausbiegen, um einem entgegenkommenden oder an der Liegestelle auf Schleusung wartenden Schleppzuge Platz zu machen; er muß vielmehr so lange geradeaus fahren, bis wenigstens der erste Anhänger die Schleusenkammer verlassen hat, da sonst die straff gespannte Trosse einen seitlichen Zug auf das eben ausfahrende Fahrzeug ausüben und so die Ausfahrt erschweren, wenn nicht ganz unmöglich machen würde. Der Schlepper muß also im Vorhafen vor dem Schleusenaupt wenigstens auf etwa 150 bis 200 m Länge freie Bahn vorfinden. Daraus ergibt sich, daß die erste Liegestelle, die höchstens 100 m vom Schleusenaupt entfernt beginnen soll, weil sonst bei der Einfahrt der Weg zur Schleuse zu lang werden würde, nicht innerhalb der Grenzen der Ausfahrstraße, sondern neben ihr angeordnet sein muß, aber wiederum nur so, daß das dort liegende Schiff eben die Ausfahrt unbehindert läßt, weil sonst der seitliche Abstand der Liegestelle von der Schleusenachse zu groß und die seitliche Verschiebung der Fahrzeuge bei der Einfahrt zu beschwerlich werden würde. Überdies würde eine unausnutzbare Wasserfläche entstehen. Allen diesen Umständen wird bei der Grundrißausgestaltung des Vorhafens am besten in der Weise entsprochen, daß im Höchstabstande von 100 m von der Schleuse beginnend an der Einfahrtseite ein 10 m breiter, als Liegeplatz dienender Wasserstreifen außerhalb der für die Ausfahrt freizuhaltenden Fahrstraße angeordnet wird. Die Grenze der beiden Streifen liegt in der Verlängerungslinie der betreffenden Kammerwand.

Für die schnelle und gefahrlose Einfahrt des Schleppzuges von der Liegestelle in die Kammer ist nun wichtig, daß die Schiffe, die bei ihrem langsamen Anfahren namentlich bei Querströmungen und Seitenwinden

⁹⁾ Vgl. Ostendorf, Erfahrungen über die Unterhaltung und den Betrieb des Rhein-Herne-Kanals, DWW 1926, S. 91 u. f.

ihrem Steuer nur schwer gehorchen, auf ihrem Wege nichts vorfinden, wo sie anstoßen und sich beschädigen können. Besonders gefährlich sind die Stirnwand des Schleusenhauptes und die Mauerecke an der Tor-einfahrt. An den Schleusen des Rhein-Herne-Kanals sind sie dadurch unschädlich gemacht worden, daß die durch die Stirnwand und die zurückliegenden Ufer des Vorhafens gebildeten Winkel an beiden Seiten der Toreinfahrt durch schwimmende Holzflöße ausgefüllt wurden, die im Grundriß einer trichterförmigen Verlängerung der Kammer gleichkommen, dem Schiff als Führung dienen und seine Berührung mit dem Mauerwerk des Schleusenhauptes verhindern. Sie selbst sind stark genug ausgebildet, um Stöße aufnehmen zu können.

Die mit diesen Flößen gemachten Erfahrungen sind günstig. Um aber den Erfolg zu erhöhen, hat man in der letzten Zeit an einigen neuen größeren Schleusen an Stelle der Flöße senkrechte Leitwände angeordnet, die an der Einfahrtseite in der Linie verlaufen, die durch die Torecke an der Schleuseneinfahrt einerseits und dem uferseitigen Anfangspunkte der Liegestelle andererseits bestimmt ist.

Die Einfahrt vollzieht sich bei dieser Anlage in folgender Weise. Sobald die Einfahrt nicht mehr durch den ausfahrenden Schleppzug behindert ist, fährt der Schleppzug an, indem der Schlepper an der Leitwand entlang der Einfahrt zusteuert. Die Anhänger lösen sich von den die Liegestelle begrenzenden Dalben ab, nehmen auf dem Schlepper Vordermann und befinden sich so in der Schleusenachse hintereinander in dem Augenblick, in dem der Schlepper am Schleusenhaupt angekommen ist. Die Einfahrt selbst geht dann glatt vorstatten.

Das Gelingen dieses Manövers ist anscheinend von der Größe des Neigungswinkels zwischen der Leitwandlinie und der Schleusenachse unabhängig. Es ist deshalb von maßgebender Seite neuerdings angeregt worden, die Liegestelle noch näher an das Schleusenhaupt heranzulegen, und zwar bis auf 60 oder gar nur 50 m. Dadurch wird Zeit gewonnen, da der Weg für die Einfahrt kürzer und auch früher frei wird als bei einem Abstände von 100 m. Außerdem wird an Baukosten gespart, da die Leitwand recht kostspielig ist.

Während die Leitwandlinie hiernach an der Einfahrtseite je nach der Entfernung der Liegestelle vom Oberhaupt (50 bis 100 m) im Grundriß gesehen eine Neigung von 1:5 bis 1:10 zur Richtung der Schleusenachse erhält, hat sich für die entsprechende Leitwand auf der gegenüberliegenden Seite schon aus wirtschaftlichen Gründen eine Neigung von 1:4 bis 1:5 als zweckmäßig, verkehrstechnisch aber auch als günstig erwiesen. Diese zweite Leitwand reicht bis zum Schnittpunkte mit der uferseitigen Begrenzungslinie des Liegeplatzes oder der nutzbaren Wasserfläche.

Die Leitwände werden im allgemeinen als senkrechte Spundwände oder Schwergewichtmauern ausgeführt. Beide haben sich bewährt. Für die Wahl ist daher lediglich die Kostenfrage ausschlaggebend. Die Leitwandfläche geht am Schleusenhaupt ohne jeden waagerechten oder senkrechten Vorsprung mit einer leichten Ausrundung unmittelbar in die Kammerwandfläche über, so daß das einfahrende Schiff nichts vorfindet, woran es sich beschädigen könnte. Etwaige Stöße gegen die Leitwand können, da sie fast nur in spitzem Winkel stattfinden und daher ohnehin nicht von schwerwiegenden Folgen begleitet sein können, leicht mit dem Fender aufgefangen und abgeschwächt werden.

Die trichterförmig begrenzte Wasserfläche, die auch hier durch die beiden Leitwände vor der Schleuseneinfahrt entsteht, ist noch insofern besonders vorteilhaft, als die bei dem Füllen der Schleusenammer im Oberwasser und bei dem Entleeren im Unterwasser entstehende Wasserbewegung durch sie in bestimmte Richtung geleitet und dabei dem gleichmäßig ab- oder zunehmenden Wasserquerschnitt entsprechend so geregelt wird, daß ungünstige Querströmungen, die den im Vorhafen liegenden Schiffen un bequem werden könnten, vermieden werden. Diese Wirkung würde bei offenen, aus einzelnen Böcken bestehenden Leitwerken nicht erreicht werden können.

An die Leitwände schließen sich auf beiden Seiten des Vorhafens auf die ganze Länge der Liegeplätze verteilt Dalben an, an denen die auf Schleusung wartenden Schiffe festgelegt werden. Der Abstand der einzelnen Dalben soll möglichst so bemessen sein, daß jedes Schiff jedweder Länge wenigstens zwei Dalben zu seiner Verfügung hat. Bei den neuen westlichen Kanälen, wo Schiffe von allen Größen bis zur Länge von 80 m verkehren, hat sich ein Abstand von 35 bis 38 m als zweckmäßig erwiesen.

Hilfsmittel für die Fortbewegung der Schiffe innerhalb der Schleusenanlage.

Schnelligkeit und Sicherheit der Verkehrsabwicklung hängen nun aber auch noch von den Hilfsmitteln ab, durch die die Fahrzeuge in die Schleusenammer hinein- und aus ihr herausgezogen werden. Zweifellos das beste Hilfsmittel ist eine Triebkraft. Sie steht aber nur bei den sogenannten Selbstfahrern und bei Schleppzügen zur Verfügung, wenn sie von ihrem Schlepper oder von besonderen Bugsierbooten durch die Schleusenanlage hindurch begleitet werden. In allen anderen Fällen muß

für besondere Einrichtungen gesorgt werden, die den Schiffen die erforderliche Fahrgeschwindigkeit erteilen, da die sonstigen Möglichkeiten der Fortbewegung durch Staken oder Treideln von Menschenhand zu viel Zeit in Anspruch nehmen und deshalb nur für kleine Schleusen mit geringem Verkehr in Betracht kommen können.

Eine Einrichtung, die sich in manchen Fällen bewährt hat und auch heute noch, z. B. an der Mindener Schachtschleuse, mit Erfolg zur Anwendung kommt, ist das elektrische Spill. Es ist aber nur bei Anlagen mittlerer Größe noch brauchbar. Bei Schleppzugschleusen scheiden sie aus, weil sie bei ihrer ortsfesten Lage in der Nähe der Häupter den Fahrzeugen nicht die Eigengeschwindigkeit geben können, deren sie benötigen, um allein ihren Platz in der Schleuse in angemessener Zeit erreichen zu können. Ferner werden die Trossen zu lang und zu stark verschlissen, wodurch die Schiffer vielfach von dem Gebrauch abgeschreckt werden.



Abb. 6. Schleppanlage an der Schleuse des Rhein-Herne-Kanals.

Am Rhein-Herne-Kanal ist deshalb jede Schleuse mit einer Schleppanlage versehen worden, die in ähnlicher Art bereits am Teltow-Kanal an der Machnower Schleuse und am Hohenzollern-Kanal an der Schleusentreppe Niederfinow mit Erfolg ausprobt worden war (Abb. 6). Ein elektrisch betriebener Schleppwagen fährt auf Schienen an der Schleusenplattform entlang und über Leitwerke bis an die Liegestellen heran und zieht die Schleppzüge, soweit sie nicht mit eigener Kraft versehen sind, an Trossen hinter sich her⁷⁾. Am Oder-Spree-Kanal ist statt des Schleppwagens eine an einer Zahnstange entlanglaufende Katze verwendet worden. Beide Anlagen haben sich durchaus bewährt. Sie haben aber immerhin den Nachteil, daß der Schleppwagen oder die Katze bei der Ausfahrt die Schiffe nicht weit genug in den Vorhafen hineinziehen und auch nicht mit der nötigen Eigengeschwindigkeit versehen können, deren sie bedürfen, um sich allein bis zu einem Platz weiterhelfen zu können, wo sie den übrigen Hafen nicht behindern und wo sie zur Weiterfahrt abgefertigt werden können.

Dieser Mangel wird dadurch ausgeglichen, daß der Schleppzug im Bedarfsfalle durch ein besonderes Bugsierboot aus der Schleuse herausgeholt und bis zur nächsten Liegestelle gebracht wird, wenn sich nicht gleich der für die Weiterfahrt bestimmte Schlepper selbst an seine Spitze setzt. Infolge geschickter und umsichtiger Ausnutzung der verschiedenen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, des Schleppwagens, der Bugsierboote und eigener Schleppkraft, sind an den genannten Schleusen zeitweise bei besonders hohen Anforderungen Verkehrsleistungen erzielt worden, die über das sonst gewohnte Maß weit hinausgehen und den dort tätigen Beamten ein glänzendes Zeugnis ausstellen.

Neuerdings ist an der in den letzten Jahren fertiggestellten Zwillingsschachtschleuse Fürstenberg am Oder-Spree-Kanal eine Seilzuganlage im Betriebe⁸⁾. Sie besteht aus Drahtseilen, die über den Längsachsen der beiden Kammern vom Unterhaupt aus bis weit in die Vorhäfen hinein ausgespannt sind und in ihrer Längsrichtung elektrisch hin und her bewegt werden. Von ihnen hängen Trossen herab, mittels deren die Schiffe von ihren Lagerplätzen geholt, in die Schleuse hinein- und aus ihr herausgezogen werden, und zwar gleich so weit, daß sie sich allein bis zu der ihnen angewiesenen Liegestelle weiterhelfen können. In diesem letzten Teil ihrer Wirksamkeit ist die Seilzuganlage dem Schleppwagen des Rhein-Herne-Kanals überlegen. Auf der anderen Seite arbeitet sie aber noch sehr unwirtschaftlich, und es bedarf großer Umsicht und Übung für den Schiffer, die Trosse im rechten Augenblick zu lösen und abzuwerfen, um Schiffszusammenstöße und sonstige Havarien zu vermeiden. Da die Anlage im übrigen sich aber bis jetzt bewährt hat, so kann sie zur Nach-

⁷⁾ Vgl. Ostendorf, Erfahrungen über die Unterhaltung und den Betrieb des Rhein-Herne-Kanals, DWW 1916, S. 91 usw.

⁸⁾ Vgl. Möller, Die Zwillingsschleuse bei Fürstenberg an der Oder, Z. d. V d I 1928, S. 1313.

ahmung empfohlen werden. Dabei sei jedoch darauf hingewiesen, daß der Verkehr an der Schleusenanlage Fürstenberg zur Zeit noch nicht übermäßig stark ist, und daß deshalb noch nicht übersehen werden kann, ob die Anlage bei stärkerer Belastung die auf sie gesetzten Hoffnungen auch auf die Dauer erfüllt.

Es sei hier noch bemerkt, daß am Kanal Wesel—Datteln einstweilen von einer Hilfsanlage abgesehen worden ist, und zwar weil dort Schleppzwang besteht und hiervon nur solche Fahrzeuge befreit sind, die mit eigener Triebkraft fahren. Sollte in besonderen Fällen, wenn z. B. der Schlepper ausnahmsweise nicht mit durch die Schleuse fährt oder der Schleppzug aufgelöst und neu zusammengestellt werden muß, eine Hilfsleistung notwendig werden, so kann durch Bugstierboote ausgeholfen werden. Erst wenn dieses Hilfsmittel bei stärker werdendem Verkehr nicht mehr ausreicht, wird man sich zur nachträglichen Einrichtung einer besonderen Hilfsanlage entschließen müssen, wobei dann die neuesten Erfahrungen ausgenutzt werden können. So lange können die Kosten einer solchen Anlage gespart werden.

Die Beleuchtung der Schleusenanlage.

Zu den Anlagen, die besonderer Beachtung bedürfen, gehört auch die Beleuchtung der Schleusenanlage, die notwendig ist, um in den Nachtstunden den Betrieb zu erleichtern und die Sicherheit des Verkehrs zu gewährleisten. Bei falscher Anordnung kann sie aber selbst zur Gefahr werden, wenn sie z. B. die Wasserfläche des Vorhafens so trifft, daß der Schiffer durch die Spiegelung geblendet wird und infolgedessen die Umgebung seines Fahrzeuges nicht mehr erkennen kann. Nur die aus dem Wasser herausragenden Anlagen, die Ufer, Dalben, die Mauern an der Schleuseneinfahrt usw., sollen dem Licht ausgesetzt sein, da sie dem Schiffer als Anhalt für seine Steuermanöver dienen und deshalb deutlich zu unterscheiden sein müssen. Es genügt vollkommen, wenn Lampen in der Stärke von 30 bis höchstens 50 Normalkerzen so am Ufer angeordnet werden, daß die Uferlinie und die Dalben beleuchtet sind.

Am besten eignen sich Tiefstrahlampen mit einem Ausfallwinkel von 120°, deren Schirm so geformt ist, daß das Licht nur auf die Anlagen fällt, deren Beleuchtung beabsichtigt ist. Außerdem sollen die Lampen so schwer sein, daß sie nicht im Winde schaukeln. Kann die Beleuchtung der Wasserfläche nicht vermieden werden, so empfiehlt sich die Abdeckung der Lichtquelle durch eine Matscheibe.

In der Kammer kann auch die Wasserfläche unbedenklich vom Lichte getroffen werden, da sie im allgemeinen dem Auge des Schiffers durch den Schiffskörper entzogen ist und schon deshalb keine Blendwirkung ausüben kann. Die Lampen werden daher am besten über der Kammer in deren Mittellinie und im Abstände von etwa 50 m voneinander aufgehängt, so daß sie die Kammerwände, die nicht im Schatten liegen dürfen, voll beleuchten. Bei dieser Anordnung bilden sie überdies eine weithin sichtbare Richtungslinie für die Einfahrt. Die Gegenüberstellung von je zwei Lampen auf beiden Seiten der Kammer tut zwar noch bessere Dienste hinsichtlich der Beleuchtung der Kammerwände, sie ist aber wegen der höheren Kosten weniger zu empfehlen.

Über den Hauptern sollen die Lampen so angebracht sein, daß sowohl die Kammer- und Leitwände als auch die beiden Torflügel auf beiden Seiten hell beleuchtet sind. Die Tore selbst werden durch irgendwelche weithin sichtbare Zeichen, z. B. durch große weiße Querstreifen oder auffallende weiße Figuren, noch besonders kenntlich gemacht, ebenso im Innern der Kammer die Drempellage an den beiden Seitenwänden, damit die Schiffer auch bei Dunkelheit an den beleuchteten Farbzeichen die Begrenzung der nutzbaren Kammerfläche schon von weitem genau erkennen können.

Das Schleusentor.

Was nun das Schleusenbauwerk selbst betrifft, so hat in der letzten Zeit namentlich die Wahl des Torverschlusses vielfach zu neuen Anregungen Anlaß gegeben. Die gebräuchlichsten Torarten sind das Stemmtor und das Klapptor. Von ihnen hat sich vor allem das erstere fast immer als anwendbar erwiesen, sofern sich nicht etwa das Verhältnis der Torbreite zur Torhöhe aus statischen Gründen als zu ungünstig ergab, so daß aus diesem Grunde zu einer anderen Torart gegriffen werden mußte. Da, wo es zur Anwendung gelangte, und das ist bei fast allen Schleusen seit ihrer Erfindung bis in die neuere Zeit hinein und bei den größten Abmessungen bis 12,5 m Weite und bis 7 m Gefällhöhe der Fall gewesen, hat es sich stets durchaus bewährt. Es liegt also kein triftiger Grund vor, es bei weiteren Neubauten nicht ernstlich in Betracht zu ziehen. Denn das Stemmtor verbindet mit seiner sonstigen Zweckmäßigkeit auch die Vorteile der Einfachheit und Billigkeit sowie der leichten Handhabung im Betriebe.

Nun hat es aber in den letzten Jahrzehnten doch Fälle gegeben, bei denen das Stemmtor aus besonderen, zumeist auf örtlichen Verhältnissen oder auf ungewöhnlichen Abmessungen beruhenden Gründen nicht mehr anwendbar oder doch wenigstens nicht mehr durchaus empfehlenswert war und deshalb auf andere Torarten gesonnen werden mußte. Zuerst war das in den Oberhäuptern größerer Schleusen der Fall, für die dann

das Klapptor bevorzugt wurde. Für Schleusen der kanallierten Ströme ist auch diese Torart nicht immer geeignet, da bei wechselnden Wasserständen zwischen dem gewöhnlichen Stau und dem höchsten schiffbaren Wasserstände derartig verschiedene Auftriebsbeanspruchungen auftreten, daß ein Gewichtsausgleich nicht mehr möglich ist und die für die Bewegung des Tores erforderlichen Antriebskräfte zu sehr schwanken. Geringe Unterschiede in den Grenzen von höchstens 0,5 m, die auch bei Kanälen häufig beobachtet werden, fallen hierbei nicht so sehr ins Gewicht, daß ihretwegen von der Wahl des Klapptores abgesehen werden müßte.

Lange hat man auch noch aus sonstigen Gründen gegen das Klapptor Bedenken geäußert und von seiner Wiederverwendung abgeraten, und zwar hauptsächlich deshalb, weil die Lager durch Fremdkörper, die sich beim Schließen des Tores zwischen Drempel und Torkörper einklemmen, bis zum Bruch beansprucht werden können, und es schwer hält, an die beschädigten Teile heranzukommen und die erforderlichen Ausbesserungen und Auswechslungen vorzunehmen, zu denen regelmäßig Taucher gezogen werden müssen. Das Buchholz'sche Pendellager, auf das zunächst große Hoffnung gesetzt worden war, wurde bald wieder aufgegeben, da das Tor bei seinen Bewegungen keinen festen Halt in diesem Lager hat und leicht unvorhersehbare Beanspruchungen ausgesetzt ist, und zwar gerade dann, wenn sich Fremdkörper zwischen Tor und Drempel festsetzen. Bewährt hat sich bis jetzt zuverlässig nur eine möglichst kräftige Ausbildung aller Lagerteile, die die Stützlager befähigen, alle Beanspruchungen, namentlich auch diejenigen, die durch eingeklemmte Gegenstände in der Richtung der Schleusenachse hervorgerufen werden, aufzunehmen. Daneben empfiehlt sich ein ausreichendes, aber kräftig begrenztes Spiel in den Buchsen der Lager, das dem Torkörper eine gewisse Beweglichkeit nach allen Richtungen verleiht und zugleich ein festes Anliegen des Tores an den Dichtungsleisten und dichten Schluß gewährleistet. Ferner sollen in die Antriebsmaschinen selbsttätige Ausschalter oder Rutschkupplungen eingebaut sein, die bei den geringsten Widerständen, die sich der Bewegung des Tores entgegenstellen, sofort die Stromzuführung unterbinden, so daß die Bewegung aufhört und damit die Verstärkung gefährlicher Beanspruchungen vermieden wird. Das Torgewicht muß zudem so ausgeglichen sein, daß der Torkörper in allen Lagen stehenbleiben kann und nur durch einen geringen und unschädlichen Auftrieb festgehalten wird, so daß Beschädigungen und Unglücksfälle vermieden werden und die Hemmnisse durch Taucher leicht beseitigt werden können, ohne daß hierbei sonderliche Schwierigkeiten auftreten. Erwähnenswert ist hier das mit entsprechenden Lagern ausgestattete Klapptor der vor einigen Jahren ausgeführten dritten Schleuse Münster, das bis jetzt noch keinerlei Beschädigungen erlitten hat.

Um dem Übel abzuhelfen, das darin besteht, daß die gefährdeten Teile unter Wasser und schwer zugänglich sind, hat man bei der Zwillingschleuse Fürstenberg am Oder-Spree-Kanal nach dem Vorschlage des Geheimen Oberbaurats Volk die Lager so eingerichtet, daß der ganze Torkörper in die waagerechte Lage über Wasser hochgeklappt werden kann⁹⁾. Bis jetzt ist aber in den zwei Jahren des Bestehens dieser Schleuse von dieser Vorrichtung noch nicht in dem Maße Gebrauch gemacht worden, daß heute beurteilt werden kann, ob sie ihren Zweck erfüllt. Ein besonderer Vorzug dieser Anordnung besteht noch darin, daß die schräg nach oben geführte und über Wasser fest gelagerte Druckstange, die das Tor in seinen Lagern festhält, mit starker Federung versehen ist und nachgeben kann, falls der Torkörper durch Fremdkörper vom Drempelanschlag oder von der Dichtungsleiste abgedrängt wird.

Im ganzen kann das Klapptor nach den neuesten Erfahrungen als ausreichend erprobt und zuverlässig bezeichnet werden, so daß es in den Fällen, in denen es überhaupt anwendbar ist, als vollwertiger Ersatz für das Stemmtor gelten darf.

Eine weitere Frage ist, ob sich eine Torart z. B. im Bergbaugelände mit seinen Geländesenkungen eignet. Für das Klapptor kann diese Frage ohne weiteres bejaht werden, vorausgesetzt, daß es nach den vorliegenden Verhältnissen sich überhaupt eignet. Denn die Bewegungsfähigkeit des Klapptores beim Senken und Aufrichten ist auch dann gesichert, wenn sich z. B. das Haupt, in dem sich das Tor befindet, infolge ungleichförmiger Geländebewegungen nach irgendeiner Seite übergeneigt hat, und zwar auch dann noch, wenn die Neigung, womit im allgemeinen gerechnet wird, das Verhältnis 1:30 zur Senkrechten angenommen hat. Am Rhein-Herne-Kanal hat man deshalb auch kein Bedenken getragen, das Klapptor in den Oberhäuptern zur Anwendung zu bringen. Bis jetzt hat sich in den 17 Jahren des Bestehens dieses Kanals noch kein ernstlicher Anlaß ergeben, diese Wahl zu bereuen. Allerdings hat bis jetzt auch noch keines der in Betracht kommenden Haupter eine nennenswerte Überneigung aufzuweisen gehabt.

Trotz dieser Erfahrungen ist das Klapptor am Kanal Wesel—Datteln nicht wieder zur Anwendung gekommen. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die Tore dieses Kanals um 2 m weiter sind als die des

⁹⁾ Vgl. Molier, Die Zwillingschleuse bei Fürstenberg an der Oder, Z. d. V d I 1928, S. 1313.

Rhein-Herne-Kanals, nämlich 12 statt 10 m. Da die Klapptore außerdem die ungewöhnliche Höhe von etwa 6 m erhalten sollten, die zum Ausgleich etwaiger Geländesenkungen eine weitere Erhöhung um 2 m erfahren kann, so schien eine Gewähr für das einwandfreie Arbeiten der Bewegungsvorrichtungen nicht mehr geboten und ein allzu großes Anschwellen der für das Aufrichten und Senken des Torkörpers erforderlichen Antriebskräfte wahrscheinlich.

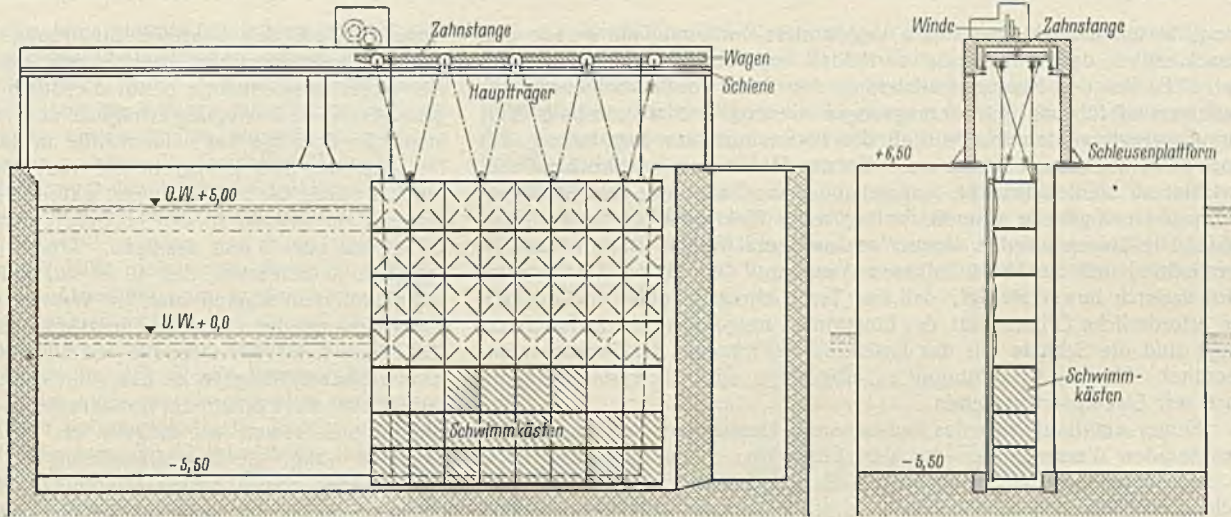


Abb. 7. Schiebetor in den Unterhäuptern der Schleusen des Rhein-Herne-Kanals.

Das Stemmtor eignet sich weniger für das Bergsenkungsgebiet, weil Bewegung und dichter Schluß in Frage gestellt sind, sobald die Hals- und Zapfenlager nicht mehr genau senkrecht übereinander liegen. Wenn es trotzdem in den Schleusen des Lippe-Seitenkanals Datteln—Hamn zur Anwendung gekommen ist, so deshalb, weil hier die Grenze des abbauwürdigen Kohlenvorkommens nahezu erreicht ist, weil ferner nur noch einzelne Flöze zum Abbau gelangen können, so daß die zu erwartenden Bergsenkungen nur noch gering sein werden, und weil schließlich die in Frage kommenden Flöze so tief liegen, daß ungleichmäßige Bodenbewegungen, die Schiefstellungen zur Folge haben können, hier kaum noch zu erwarten sind.

Am Rhein-Herne-Kanal hat man in den Unterhäuptern Schiebetore verwendet, die an Seilen hängen und von einer über dem Haupte angeordneten Brücke aus mit Hilfe von Katzen bewegt werden (Abb. 7). Diese Torart an und für sich hat sich in jeder Beziehung bewährt. Sie ist durchaus sicher im Betriebe und hat noch keinen Grund zu Beanstandungen gegeben. Die Tore haben aber noch nicht die Beanspruchungen erfahren, denen sie im Falle einer Überneigung des Hauptes ausgesetzt werden können und die den eigentlichen Anlaß zu ihrer Verwendung gegeben haben. Treten solche Neigungen ein, dann müssen zunächst die Brücken, an denen die Tore geführt werden, in die waagerechte Lage zurückversetzt und die Torkörper in ihrer Aufhängung der neuen Lage der Toröffnungen und der Tornische angepaßt werden. Ob noch weitere Maßnahmen notwendig werden, um namentlich dann, wenn sich das Haupt in der Richtung der Kanalchse überneigt, einen dichten Schluß zu gewährleisten, muß abgewartet werden.

Diese Überlegungen machten es notwendig, die Wahl der Torart für die Schleusen des Kanals Wesel—Datteln, für die ebenfalls ursprünglich Schiebetore vorgesehen waren, von einer neuen Prüfung abhängig zu machen. Dabei war noch zu berücksichtigen, daß an die Standfestigkeit und innere Widerstandsfähigkeit der Kunstbauten im Bergbaubereich wegen der zu erwartenden Bodenbewegungen und der möglichen Zerklüftungen des Baugrundes im Bereiche der Bauwerksgrenzen Anforderungen gestellt werden müssen, die über das sonst übliche Maß weit hinausgehen. Ist dieser Umstand beim Schiebetor wegen seiner ungleichmäßigen Gewichtsverteilung und der dadurch bedingten Unterschiede in der Belastung des Baugrundes sowie deshalb, weil das Schließerhaupt im Bergbaubereich als einziger zusammenhängender Mauerwerkskörper ohne jede Fugenunterteilung ausgeführt werden muß, ohnehin schon von großem Einfluß auf die Bemessung des Sohlenkörpers, so war dies bei den Schleusen des Kanals Wesel—Datteln noch mehr der Fall, weil deren Abmessungen mit 12 m lichter Torweite und bis 9 m Gefällhöhe noch wesentlich größer sind als die des Rhein-Herne-Kanals. Während die Bauwerkabmessungen der Schiebetore des Rhein-Herne-Kanals noch in erträglichen Grenzen liegen, ergaben sich bei den Untersuchungen für die Schleusen des Kanals Wesel—Datteln derartige Beanspruchungen, daß namentlich die Sohle eine derartige Stärke und derart zahlreiche Eiseneinlagen hätte erhalten müssen, daß diese Bauart schon wegen der Höhe der Kosten nicht mehr hätte vertreten werden können, ganz abgesehen davon, daß die Herstellung einer homogenen Eisenbetonsohle von gleichmäßiger und zuverlässiger Festigkeit bei diesen Verhältnissen praktisch kaum noch möglich gewesen wäre. Aus allen diesen Gründen mußte man das Schiebetor aufgeben und sich

für das Hubtor entscheiden, das als einzige Konstruktion noch in Betracht kam und ganz wesentlich günstigere statische Verhältnisse bot (Abb. 8)¹⁰⁾. Es erwies sich zudem als erheblich billiger als das Schiebetor und hat vor allem auch den großen Vorteil, daß es sich ohne weiteres auch bei Schiefstellungen noch heben, senken und dicht schließen läßt, vorausgesetzt, daß das Hubgerüst und die Leitschienen in allen Teilen so kräftig ausgebildet sind, daß sie die waagerechten Kräfte, die bei der Torbewegung dann auftreten, wenn die Bewegungsebene von der Senkrechten bis zur Neigung von 1:30 in irgendeiner Richtung abweicht, unter allen Umständen aufzunehmen imstande sind.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht hervor, daß das Hubtor am Kanal Wesel—Datteln den Vorzug vor allen anderen Torarten nur deshalb erhalten hat, weil die dort vorliegenden Verhältnisse keine andere Wahl übrigließen. Die günstigen Erfahrungen, die bis jetzt mit diesen Toren in der kurzen Zeit der Betriebseröffnung und bei verhältnismäßig schwachem Verkehr gemacht wurden, lassen aber das Vertrauen darauf gerechtfertigt erscheinen, daß die Bauart sich auch in Zukunft und auf die Dauer bewähren wird. Sie hat zweifellos über die für ihre Anwendbarkeit im Bergbaubereich entscheidenden Eigenschaften hinaus auch noch andere recht wesentliche Vorzüge. Hervorzuheben ist z. B. der Umstand, daß das Tor zu Unterhaltungs- und Ausbesserungszwecken über Wasser gehoben werden kann und daß sich auch sonst keine für den Betrieb wesentlichen Bestandteile unter Wasser befinden, so daß alle etwa vorkommenden Betriebsbehinderungen schnell erkannt und beseitigt werden können. Ferner bietet sich die Möglichkeit, die Öffnungen für das Füllen und Entleeren der Kammer im Torkörper anzuordnen, wodurch die sonst üblichen Umläufe entbehrlich werden. Von dieser Möglichkeit ist, wie wir noch sehen werden, am Kanal Wesel—Datteln mit bestem Erfolge Gebrauch gemacht worden. Andererseits darf aber nicht übersehen werden, daß das Hubtor mit seinem hohen Führungsgerüst und den immerhin doch recht umfangreichen Maschinenanlagen für den Antrieb und den Gewichtsausgleich verhältnismäßig teuer in der Anlage ist und daß die ganze Konstruktion einer sehr sorgfältigen und kostspieligen Unterhaltung und Pflege sowie dauernder Beobachtung bedarf. Ferner stellt sich auch der Betrieb sehr viel teurer als bei anders gearteten Anlagen, weil beim Heben und Senken des schweren Torkörpers trotz des fast vollständigen Gewichtsausgleichs lediglich zur Überwindung der Reibungskräfte recht hohe Kräfte benötigt werden.

Aus diesen nicht ungewichtigen Gründen wird das Hubtor überall da außer Betracht bleiben, wo billigere und einfachere Bauarten, wie namentlich das Stemmtor, noch anwendbar sind und wo nicht, wie beim

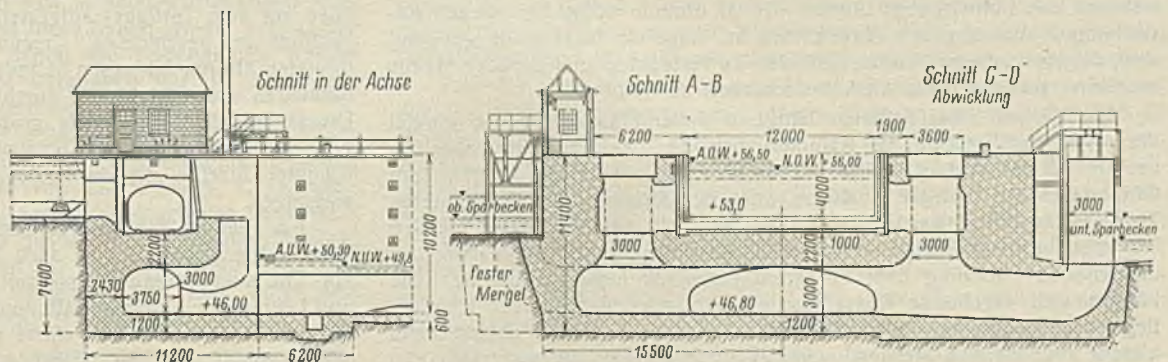


Abb. 8. Schleuse des Kanals Wesel—Datteln mit Hubtor und Kammerspundwänden.

¹⁰⁾ Vgl. Nattermann, Die Hubtore des Kanals Wesel—Datteln und ihre Notverschlüsse, Bautechn. 1930, S. 395.

Kanal Wesel—Datteln, besondere Verhältnisse vorliegen, die gerade und ausschließlich das Hubtor als vorteilhaft erscheinen lassen. Letzteres war z. B. bei der Neckarkanalisation der Fall, wo die Schleusen zur Hochwasserabführung mit herangezogen werden und wo deshalb Wert darauf gelegt werden mußte, daß die Torart auch zur Regulierung des Hochwasserabflusses befähigt war. Da das Hubtor nur entsprechend eingerichtet zu werden braucht, um nebenbei auch die Rolle des Schützenwehres übernehmen zu können, so lag seine Wahl auch in diesem Falle nahe. Die Kosten wurden ebenso wie am Kanal Wesel—Datteln dadurch vermindert, daß die Umläufe gespart wurden. Das Füllen der Kammer wird dadurch bewerkstelligt, daß das Tor leicht angehoben und dadurch die erforderliche Öffnung für das Einströmen freigegeben wird. Im Unterhaupt sind die Schütze für das Entleeren der Kammer im Torkörper angeordnet. Um die Eisabführung zu erleichtern, sind die Hubtore zudem noch mit Eisklappen versehen.

Ferner empfiehlt sich das Hubtor unter Umständen auch da, wo bei wechselnden Wasserständen der Verschlusskörper in der Lage sein muß, je nach Bedarf nach der einen oder anderen Richtung zu kehren. Es ist nicht unmöglich, daß in solchen Fällen ein Kostenvergleich die wirtschaftliche Überlegenheit des Hubtores gegenüber dem doppelten Stemmtorpaar ergibt.

Neben diesen bereits behandelten Torarten gibt es noch eine Reihe anderer Möglichkeiten, die ebenfalls unter Umständen noch ihre Berechtigung haben können. Beispielsweise legt der Umstand, daß das Hubtor in der Form des Schützenwehres in den Schleusen der Neckarkanalisation Verwendung gefunden hat, die Frage nahe, ob nicht mit der gleichen Berechtigung auch Verschlusskörper nach Art von Segment- oder Walzenwehren im Oberhaupt oder bei geringem Gefälle auch im Unterhaupt zweckmäßig sein können, wenn die Schleuse auch zur Hochwasserabführung dienen soll. Ein Versuch könnte demnächst bei Gelegenheit des Umbaus der Mühlendamm Schleuse in Berlin gemacht werden. Während des Umbaus soll die Stadtschleuse, die später durch ein Wehr ersetzt werden soll, zur Entlastung der Mühlendamm Schleuse herangezogen werden und bedarf zu diesem Zweck einer gewissen Erweiterung. Es besteht nun die Möglichkeit, einem der dieserhalb neu zu errichtenden Tore gleich von vornherein die Gestalt zu geben, die es später ohnehin erhalten muß. In Betracht kommt hierfür in erster Linie ein Walzenwehr, das bei geringem Anhub zugleich das Füllen oder Entleeren der Kammer regelt. Der Versuch könnte darüber Aufschluß geben, ob von der gleichen oder ähnlichen Bauart auch sonst Gebrauch gemacht werden kann.

Das Füllen und Entleeren der Kammer.

Im Rahmen dieser Ausführungen müssen nun auch noch die Anlagen behandelt werden, deren Zweck darin besteht, das Füllen und Entleeren der Kammer zu ermöglichen. Nach der obigen Aufstellung der auf die einzelnen Schleusungsvorgänge verwendeten Zeiträume entfallen auf das Füllen und Entleeren der Kammer bei einer Schleppzugschleuse im normalen Betriebe etwa 30% des Gesamtzeitaufwandes. Dieser Anteil ist verhältnismäßig groß. Es ist daher verständlich, daß in der letzten Zeit vielfach Versuche gemacht wurden, gerade diese Vorgänge durch geeignete Maßnahmen noch zu beschleunigen. Der Erfolg kann allerdings naturgemäß nur gering sein, und für die einzelnen Schleppzüge fällt die dabei erzielte Ersparnis an Reisezeit wenig oder gar nicht ins Gewicht, wenn sie sich nicht etwa bei einer Reihe anderer am Wege liegenden Schleusen wiederholt. Dagegen ist für die Leistungsfähigkeit der Schleusenanlage jede noch so geringe Ersparnis als Gewinn zu buchen. Denn, wenn es auch nur gelingt, die Zeit für das Füllen und Entleeren der Kammer um je eine Minute abzukürzen, so ist doch im Tage bei ununterbrochenem Betriebe bereits die Zeit für eine volle neue Schleusung gewonnen.

Nun ist aber zu beachten, daß eine Beschleunigung des Füllvorgangs nur dadurch erreicht werden kann, daß die der Kammer in der Zeiteinheit zufließende Wassermenge entsprechend erhöht wird und daß hierdurch wiederum die Gefahren wachsen, die den in der Kammer liegenden Schiffen während des Füllvorgangs drohen. Es ist deshalb nötig, bei solchen Bestrebungen auch zugleich Maßnahmen ins Auge zu fassen, die geeignet sind, die etwa zu erwartenden Gefahren zu vermeiden und darüber hinaus möglichst auch noch die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Die Füllzeit einer Schleuse hängt in erster Linie davon ab, wieviel Wasser in der Sekunde der Kammer zuströmt. Es fragt sich aber zunächst, wieviel Wasser in der Sekunde ohne nachteilige Folgen dem Oberwasser der Schleuse entzogen oder der Kammer und dem unteren Vorhafen zugeführt werden kann. Die Rücksicht auf den Verkehr in den Vorhäfen verlangt, daß die hier und in den angrenzenden Kanalstrecken entstehende Strömung über höchstens 0,5 m/sek nicht hinausgeht. Die hieraus sich ergebende Wassermenge kann aber den in der Kammer liegenden Schiffen bereits gefährlich werden. Sie muß dann entsprechend kleiner angenommen werden, wenn es nicht gelingt, die störenden Einflüsse zu vermeiden oder wenigstens auf ein erträgliches Maß zu ver-

ringern. Nach den heutigen Erfahrungen dürfte die Wassermenge, die allen Anforderungen am ehesten entspricht, bei etwa 40 m³/sek liegen. Bei dieser Wassermenge bleibt die durch die Strömung in den Vorhäfen erzeugte Wasserbewegung erträglich und kann auch erfahrungsgemäß eine ausreichend ruhige Lage der Schiffe in der Kammer erzielt werden.

Bei einer Schleppzugschleuse von 225 m Länge, 12 m Breite und 8 m Gefälle würde die Füllzeit, wenn während des ganzen Füllvorgangs gleichmäßig 40 m³ Wasser in der Sekunde einströmen könnten, $(225 \cdot 12 \cdot 8) : 40 = 540$ sek oder 9 min betragen. Würde dagegen der Einlaufquerschnitt lediglich so bemessen, daß 40 m³ nur unter dem Druck der vollen Gefällhöhe eintreten können und die Wassermenge von Sekunde zu Sekunde der Abnahme der Druckhöhe entsprechend kleiner wird, so würde sich die Füllzeit auf das Doppelte, nämlich auf 18 min erhöhen. Sache der Entwurfsbearbeitung ist es nun, durch entsprechende Bemessung der Anlage die für das Füllen oder Entleeren erforderliche Zeit so einzuschränken, daß sie sich soweit wie möglich der unteren Grenze von 9 min nähert. Dazu ist nötig, die Durchflußöffnung so groß zu wählen, daß die für die Leistung von 40 m³/sek erforderliche Druckhöhe nur einen möglichst geringen Anteil der Gesamtgefällhöhe ausmacht, und im übrigen dafür Sorge zu tragen, daß die Durchflußöffnung nur allmählich in dem Maße freigegeben wird, als nötig ist, um bei der jeweilig vorhandenen Druckhöhe den Durchfluß von 40 m³/sek sicherzustellen.

In einer Schleuse von den angenommenen Abmessungen steigt der Wasserspiegel in der Kammer bei einem Zulauf von 40 m³/sek um 1,6 cm. Hiergegen ist nichts einzuwenden.

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Steiggeschwindigkeit bei Schleusen von geringerer Grundfläche als $225 \times 12 = 2700$ m² bei 40 m³ Einlaufmenge größer wird. Wieweit das zulässig ist, muß von Fall zu Fall geprüft und von den Anlagen, die zur Beruhigung der in die Kammer einströmenden Wassermengen beitragen sollen, und ihrem Erfolg abhängig gemacht werden. Dabei ist zu beachten, daß der Schiffer um so mehr dafür besorgt sein muß, die Trossen, mit denen das Schiff in der Kammer an den Haltekreuzen befestigt ist, rechtzeitig zu lösen und am nächsten Haltekreuz anzulegen, je größer die Steiggeschwindigkeit des Wasserstandes ist. Liegt das Schiff ruhig, so macht das Lösen und das Wiederanlegen der Trossen keine Schwierigkeiten, weil die Trosse durch seitliche Bewegungen des Fahrzeugs nicht in Spannung gehalten wird. Andernfalls können aber Verzögerungen in der Lösung der Trosse eintreten, die das Schiff in Gefahr bringen. Es empfiehlt sich daher, größere Steigungsgeschwindigkeiten nur dann zuzulassen, wenn die Gewähr vorhanden ist, daß das Schiff ruhig liegt und Spannungen in den Trossen, die ihre Loslösung von den Haltekreuzen erschweren, nicht befürchtet zu werden brauchen.

Beiläufig möge ferner folgender Umstand Erwähnung finden, der zwar eigentlich nicht hierher gehört, aber mit der Frage der Schleusenfüllung im Zusammenhange steht. Während des Füllvorganges entsteht im oberen Vorhafen und in der anschließenden Kanalstrecke infolge des Nachströmens des Wassers zur Schleuse ein Gefälle, das eine Absenkung des Wasserspiegels am Oberhaupt oft um mehrere Dezimeter zur Folge hat. Wird der Wasserzulauf zur Schleuse geschlossen, so strömt das Wasser so lange weiter, bis die lebendige Kraft der Bewegung durch den nun am Schleusenaupt entstehenden Stau aufgehoben ist. Die weitere Folge ist eine rückläufige Strömung, der sich eine Hinundherbewegung anschließt, die sich in dauerndem Steigen und Fallen des Wasserspiegels in gewissen Grenzen auswirkt und z. B. an einer der neuen Schleusen des Kanals Wesel—Datteln noch nach 12 Stunden nachgewiesen werden konnte. Mit Rücksicht hierauf empfiehlt es sich, die lichte Höhe der im Bereiche der Wellenbewegung befindlichen Brücken stets 20 bis 30 cm höher anzunehmen, als sonst an der betreffenden Wasserstraße üblich ist, damit nicht die durch die Brücke fahrenden Schiffe, wenn sie sich gerade auf einem Wellenberg befinden, an die Brücke anstoßen und deren Konstruktionen oder sich selbst beschädigen.

Ursprünglich waren die zum Füllen und Leeren der Kammer erforderlichen Öffnungen in den Torflügeln der Stemmtore untergebracht. Die diese Öffnungen verschließenden Schütze wurden mit Hilfe einer oben auf dem Torflügel aufgestellten Winde vom Torsteg aus von Hand geöffnet und geschlossen. Gegen diese Anordnung, die sich heute noch in vielen älteren Schleusen befindet, war nichts einzuwenden. Die Schützöffnungen waren klein, die durchfließende Wassermenge unerheblich, die Druckhöhe nicht übermäßig groß; die erforderliche Kraft ließ sich also von Menschenhand leicht erzwingen, und die Wasserbewegung in der Kammer brachte die darin liegenden Schiffe nicht in unzulässige Bewegungen.

Als aber die Schleusenabmessungen und namentlich auch die Druckhöhe größer wurden, also auch Wert darauf gelegt werden mußte, die ein- und ausströmende Wassermenge zu vergrößern, um die auf das Füllen und Leeren der Kammer entfallende Zeit nicht zu groß werden zu lassen, da reichte Menschenkraft nicht mehr aus, um die Schütze gegen den Wasserdruck zu öffnen. Elektrischer Antrieb kam nicht in Frage, da die Möglichkeit, elektrische Energie auf die beweglichen Torflügel überzuleiten,

noch nicht bestand. In der Kammer entstanden zudem unzulässige Wasserbewegungen, und bei den größeren Gefällhöhen konnten die Durchflußöffnungen im Oberhaupt nicht mehr unter dem Unterwasserspiegel angeordnet werden, so daß das Wasser im Anfange des Füllvorgangs als freier Strahl in die Kammer hätte hineinschießen müssen. Aus diesen Gründen mußte dazu übergegangen werden, die Durchflußöffnungen und ihre Verschlüsse in das Hauptmauerwerk hinein zu verlegen und um die Tore herumzuführen. So entstanden die Umläufe, die ober- und unterhalb der Tore unter dem Wasserspiegel münden und deren Verschlüsse von der Schleusenplattform aus mit Hilfe elektrischen Antriebes geöffnet und geschlossen werden. Da die Ausmündungen in der Kammer sich gegenüberliegen, so konnte angenommen werden, daß die aus den beiden Öffnungen sich entgegenstürzenden Wassermengen zunächst ihre Energie aneinander austoben würden, bevor sie sich in die Kammer hinein ergießen. In gewissem Maße trifft das auch zu. Da sich aber der Wasserschwall infolge des sich ihm vom Kammerinhalt aus bietenden Widerstandes nur nach oben hin auswirken kann, so bildet sich an der Einlaufstelle ein Wasserberg, der nach der Kammer hin abläuft und an der

sich die einströmenden Wassermengen aus und fließen dann ruhig und mit geringer Geschwindigkeit in die Kammer ab, wobei sie das in der Kammer befindliche Wasser vor sich herschieben und so ohne jede Wellenbewegung in gleichmäßigem und langsamem Vorwärtsfließen das Ansteigen des Kammerwasserspiegels bewirken. Eine Hin- und Herbewegung der Schiffe ist hierbei nahezu ausgeschlossen, da das Wasser nur nach einer Richtung, und zwar nach dem Oberhaupt hinströmt. Die Trossen, an denen das Schiff festgelegt ist, sind deshalb auch ständig nur nach einer Seite und dem ruhigen Fließen des Wassers entsprechend nur schwach gespannt und lassen sich in jedem Augenblick leicht von den Haltekreuzen lösen und wieder anlegen.

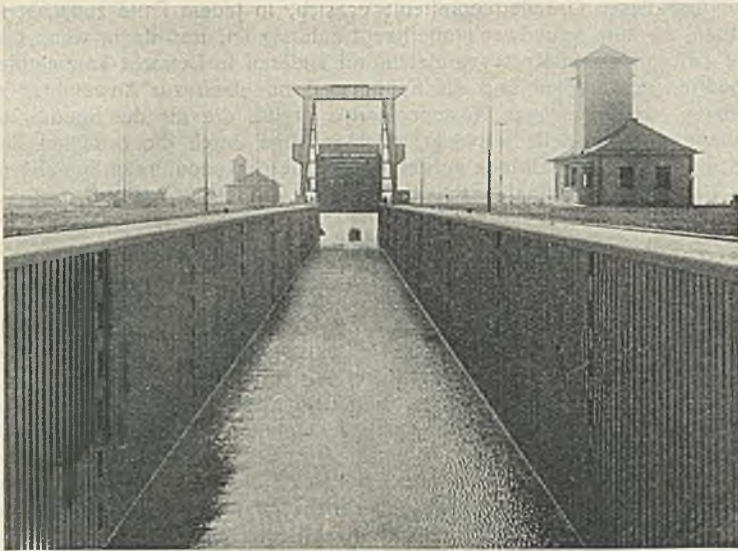


Abb. 9. Schnitt durch das Oberhaupt der 3. Schleuse Münster.

Oberfläche des Kammerinhaltes sich hinschiebende Wellen erzeugt, die mit den Gegenwellen das in der Kammer liegende Schiff hin und her zerren und die Schiffstrossen bald in der einen, bald in der anderen Richtung anspannen. Um die hierin liegenden Gefahren für die Sicherheit der Schiffe zu beseitigen, führte man die Umläufe in Gestalt von langen Kanälen auch noch durch die Kammermauern hindurch und ließ das Wasser von diesen Kanälen aus durch eine Reihe kleiner Öffnungen, die über die ganze Kammerlänge in gleichen Abständen verteilt und entweder paarweise gegenüber oder versetzt zueinander angeordnet sind, unmittelbar über der Sohle in die Kammer eintreten. Dadurch wurde eine Verteilung der einströmenden Wassermengen auf die ganze Kammer erzielt und die gefährliche Wellenbewegung in der Längsrichtung zum größten Teil vermieden. Eine kleine Bewegung bleibt immer noch, weil die dem Oberhaupt zunächst liegenden Einlauföffnungen zuerst in Tätigkeit treten. Dafür bilden sich aber kleinere Wasserberge über jeder Einlauföffnung und erzeugen gegeneinander starke Beunruhigungen in der Wasseroberfläche, verbunden mit Wirbelbewegungen innerhalb des gesamten Kammerinhaltes, die namentlich kleineren Fahrzeugen von 300 bis 400 t Tragfähigkeit recht unbequem werden können, da sie außer Hin- und Herbewegungen auch Stöße und Schwingungen im Schiffskörper hervorrufen. Da die langen Umlaufkanäle auch aus technischen Gründen — wegen der leichten Ribbildung in den an Größe vielfach wechselnden Mauerquerschnitten — und wegen der hohen Kosten auch wirtschaftlich nicht befriedigend, hat man in der neueren Zeit diese Bauart wieder aufgegeben und nach Möglichkeiten gesucht, bei denen die unbequemen Wasserbewegungen in der Kammer und ihre Wirkungen auf die Schiffslage soweit wie irgend möglich überhaupt vermieden werden.

Ein solcher Versuch ist z. B. an der dritten Schleuse Münster, die im Jahre 1925 dem Verkehr übergeben wurde, mit Erfolg durchgeführt worden (Abb. 9). Bei dieser Schleppzugschleuse von 225 m Länge, 12 m Breite und 6,5 m Gefälle sind die Umläufe in der Weise durch das Mauerwerk des Oberhauptes hindurchgeführt worden, daß sie in ein unter dem Drempe liegendes Gewölbe, dessen Ausmaße den zur Verfügung stehenden Raum in den äußersten Grenzen ausnutzen, dessen Scheitel aber unter dem Unterwasserspiegel liegt, seitlich einmünden¹⁾. In diesem Gewölbe toben

¹⁾ Vgl. Struckmann, Neubau der dritten Schleuse Münster I. W., Z. f. Bauwes. 1925, S. 42.

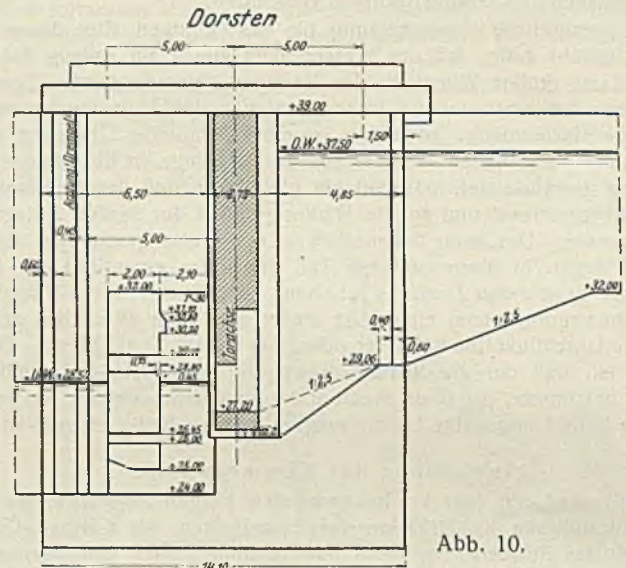


Abb. 10.

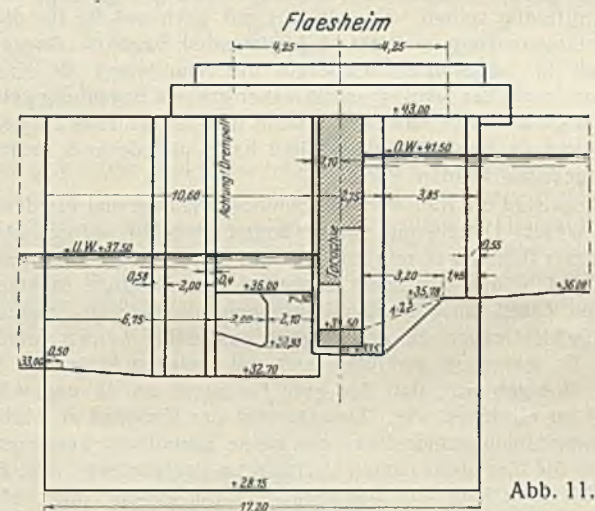


Abb. 11.

Abb. 10 u. 11. Beruhigungsanlagen (Stoßbalken) an den Oberhäuptern der Schleusen Dorsten und Flaesheim des Kanals Wesel—Datteln.

Ähnliche Anordnungen sind inzwischen auch an anderen Schleusenbauten getroffen worden, z. B. an der vor kurzem fertiggestellten Zwillingschachtschleuse Fürstenberg am Oder-Spree-Kanal und an der zur Zeit im Bau begriffenen Schleuse Hameln. Hierbei ist man aber insofern von der früheren Bauart abgewichen, als man der Gewölbedecke eine gewisse Steigung nach der Kammer hin gegeben hat. Dadurch wird vermieden, daß die Luftmassen, die von dem einströmenden Wasser mitgerissen werden, sich in dem Gewölbe unter der Decke sammeln und von Zeit zu Zeit in großen Blasen in die Kammer entweichen, wobei sie dann explosionsartige Bewegungen im Wasser hervorrufen. An der ansteigenden Decke fließt die Luft leicht ab, ohne weitere Störungen zu verursachen.

Bei den Schleusen des Kanals Wesel—Datteln ist an den oben erwähnten Hubtoren dasselbe auf anderem Wege erreicht worden (Abb. 10 u. 11). Dort ist auf die ursprüngliche Art der Unterbringung der Füllanlagen im Torkörper zurückgegriffen worden, nachdem die Möglichkeit, die elektrische Energie auf den beweglichen Torkörper sicher überzuleiten, geschaffen worden ist. In jedem Tor befinden sich sechs unter dem Unterwasserspiegel angeordnete Schütze, die selbsttätig jeweilig so weit geöffnet sind, daß nicht mehr als 40 m³/sek in die Kammer eintreten können, aber auch so groß bemessen wurden, daß diese Wassermenge auch bei einem verhältnismäßig geringen Überdruck noch unverringert bleibt.

Auf Grund eingehender Versuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin sind vor den Schützen besondere quer zur

Kammerrichtung liegende Eisenbetonbalken angeordnet, deren Lage und Abmessungen für jede einzelne Schleuse ihrer Gefällhöhe entsprechend besonders ermittelt sind¹²⁾. In dem durch das Tor, den Drempe labfall und den Stoßbalken begrenzten Raum tost sich das durch die Schütze einströmende Wasser zunächst aus und tritt dann im beruhigten Zustande durch die Zwischenräume der Stoßbalken in die Kammer ein. Auch diese Energievernichtungs-Anlage hat sich bewährt. Die Schiffe liegen, auch wenn sie unmittelbar vor dem Oberhaupt festgemacht sind, durchaus ruhig, und der Trossenzug ist selbst bei den größten Kähnen — bis 1350 t Tragfähigkeit — verhältnismäßig unbedeutend. Eine anders geartete, aber auf das gleiche Ziel gerichtete Anlage ist auch mit den Hubtoren der im Bau begriffenen Neckarkanalisation verbunden.

Eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen aller dieser Maßnahmen besteht darin, daß das Wasser nicht gleich am Anfang des Füllvorgangs mit großer Wucht in die Kammer gelassen wird. Denn nur dann, wenn das einströmende Wasser erst von der kleinsten bis zur zugelassenen Höchstmenge anwächst, ist ein allmählicher Übergang des in der Kammer befindlichen Wassers aus der Ruhelage in die gleichmäßige Bewegung gewährleistet, während ein plötzlicher Stoß den Kammerinhalt in Aufruhr versetzen und so die Wirkung selbst der besten Anlage vernichten müßte. Das kann bekanntlich in der Weise geschehen, daß die Schützöffnungen in ihrem unteren Teil die Form eines mit der Spitze nach unten gerichteten Dreiecks erhalten, so daß sich bei gleichmäßiger Schützenbewegung zuerst eine ganz kleine und dann allmählich sich vergrößernde Durchflußöffnung bildet oder, wie es am Kanal Wesel—Datteln der Fall ist, daß der die Schützenbewegung vermittelnde Antriebmotor auf eine bestimmte, in jedem Stadium der Schützenbewegung wechselnde und dem Bedarf angepaßte Umdrehungszahl zwangsläufig eingestellt wird.

Ausbildung der Kammerwände.

Damit sind die hier zu behandelnden Fragen eigentlich erschöpft. Die Wahl und die Konstruktion der Einzelheiten, ob z. B. als Umlaufverschluß das Rollkeil-, Segment- oder Zylinderschütz den Vorzug verdient, ist lediglich von technischen Untersuchungen abhängig, die hier nicht zur Erörterung stehen. Es soll hier nur noch auf die für die seitliche Kammerbegrenzung in Betracht kommenden Bauarten eingegangen werden, weil in letzter Zeit wiederum die Spundwand als Kammer-einfassung an Stelle der Schwergewichtmauer größere Beachtung gefunden hat, nachdem sie seit ihrer Anwendung beim Bau der Schleuse Hemelingen lange Zeit nicht als befriedigend gegolten hatte und deshalb nicht mehr in Betracht gezogen worden war.

Neuerdings sind die Kammern der Schleusen Hünxe und Friedrichsfeld des Kanals Wesel—Datteln mit Spundwänden eingefaßt worden (Abb. 9). Die Wahl dieser Bauart war rein zufällig und zwangsläufig. Der Baugrund erwies sich bei beiden Schleusen entgegen dem Befunde mehrerer zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Bohrungen als durchaus ungeeignet, eine Schwergewichtmauer, die ursprünglich ausgeführt werden sollte, aufzunehmen. Er war stark zerklüftet und mit welchen Schlenken durchzogen, und es ergab sich, daß der gute Baugrund erst in ungewöhnlich großer Tiefe zu erreichen war. Damals kam der Umstand zu Hilfe, daß die Dortmunder Union gerade eine neue starke Spundbohle herausgebracht hatte, die für die hier vorhandenen Verhältnisse geeignet war. Die Bohlen mußten 22 bis 28 m lang sein und etwa 12 m frei stehen. Man entschloß sich, die neue Spundwand zur Anwendung zu bringen, weil sie hier bei den besonders ungünstigen Bodenverhältnissen als einzige brauchbare Lösung in Betracht kam, weil bei ihrer Ausführung keine Verzögerungen im Bauplan zu befürchten waren und weil schließlich die Baukosten ganz erheblich niedriger waren als bei der Ausführung der Schwergewichtmauern auf der unverhältnismäßig tief liegenden Bausohle. Die Ausführung der Spundwände verlief trotz der ungewöhnlichen Längen gegen alles Erwarten günstig und ohne jeden Zwischenfall. Das Bauwerk befriedigt in jeder Hinsicht, und auch die Schiffer sind mit der neuen Bauart, die für sie mit den glatten Wänden und den bequemen Festhaltevorrichtungen mancherlei Vorteile bietet, durchaus einverstanden. Aus diesen Gründen kann die Spundwand da, wo die Voraussetzungen für

sie gegeben sind, wohl empfohlen werden, namentlich dann, wenn bei ihrer Anwendung namhafte Ersparnisse im Vergleich mit den Kosten anderer Bauarten erzielt werden können.

Es liegt aber wohl kein Anlaß vor, nun dieser Bauart ganz allgemein vor der bisher bewährten Betonmauer den Vorzug zu geben, lediglich deshalb, weil mit ihr am Kanal Wesel—Datteln gute Erfahrungen gemacht wurden. Denn es ist nicht zu verkennen, daß den Spundwänden auch Nachteile anhaften, die Betonmauern nicht aufweisen. So ist die Spundwand, auch wenn sie aus langsam rostendem Material besteht, von begrenzter Lebensdauer. Ferner können sich in der langen, geraden Wand, wenn aus irgendwelchen Gründen die Verankerung nachgibt, leicht Verwerfungen bilden, die eine für den Verkehr recht empfindliche und schwer wieder zu beseitigende Einbuße an lichter Kammerweite zur Folge haben können. Dann ist zu beachten, daß Spundwände nur da anwendbar sind, wo sie bis in den undurchlässigen Grund hineinreichen, so daß Unterläufigkeiten in der Schleusensohle unter keinen Umständen zu befürchten sind. Schließlich ist die Spundwand keineswegs immer billiger als die Betonmauer. Es darf auf die oft recht erheblichen Erdarbeiten hingewiesen werden, die durch das Anbringen der Verankerungen notwendig werden.

Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, in jedem Falle zunächst zu prüfen, ob eine Spundwand überhaupt zulässig ist, und dann, wenn dies der Fall ist, einen Kostenvergleich mit anderen in Betracht kommenden Bauarten aufzustellen und die Spundwand nur dann zur Anwendung zu bringen, wenn sich eine Kostenersparnis ergibt, die die der Spundwand anhaftenden Nachteile aufwiegt, oder sonstige durch die örtlichen Verhältnisse bedingten Gründe vorliegen, die die Anwendung der Spundwand als besonders vorteilhaft erscheinen lassen.

Schluß.

Aus den vorangehenden Ausführungen konnte vielleicht der Eindruck gewonnen werden, als sollte dem hemmungslosen Streben, Neues zu schaffen, das Wort geredet werden. Das ist nicht der Fall. Nicht Neues, sondern das Beste tut not, das Beste in technischer und wirtschaftlicher — namentlich verkehrswirtschaftlicher — Hinsicht, und das Beste ist zumeist zugleich das Einfachste, Naheliegendste und Billigste und oft das Althergebrachte, das sich durch Jahrzehnte oder Jahrhunderte bewährt hat.

Bei jedem neuen Bauvorhaben sieht sich der Entwurfsbearbeiter vor neue Fragen gestellt. Es liegt daher nahe, daß sich neue Ideen aufdrängen, die auf den ersten Blick etwas Bestechliches haben, aber nur zu oft einer sorgfältigen Prüfung nicht standhalten. Man sollte sich deshalb zunächst darauf beschränken, durch eingehende Untersuchungen festzustellen, ob das Neue auch wirklich praktisch verwendbar ist, und vor allem, ob es einen Fortschritt gegenüber dem Bewährten darstellt. Das kann oft nur durch Modellversuche geklärt und im Benehmen mit praktisch Erfahrenen und dem Nutznießer, in diesem Fall dem Schiffer, beurteilt werden. Das vorausseilende Hineinsteigen in neue Probleme birgt nur zu oft die Quelle stets sich steigender unnützer Geldausgaben und Enttäuschungen in sich. Ist die Brauchbarkeit der Ideen anerkannt, dann sei man sich über die Kosten klar, bevor man an die Ausführung herangeht. Dazu ist die genaue Durcharbeitung aller Einzelheiten notwendig. Eine einzige Unklarheit hat oft unverhältnismäßig hohe Mehrkosten heraufbeschworen.

Hierher gehört schließlich unbedingte Sparsamkeit in der Entwurfsausdehnung. Nur das unbedingt Notwendige sollte ausgeführt werden. Das nur Erwünschte nimmt zu leicht den Charakter der Spielerei an, die die Kosten unnötig erhöht und die Wirtschaftlichkeit des Gesamtunternehmens und dessen Zweck, die Senkung der Frachttarife, in Frage stellen kann.

Es wird auch genau zu unterscheiden sein, mit welchen Maßnahmen der Schifffahrt wirklich gedient wird. Auch darüber gehen die Meinungen oft auseinander. Vor allem muß alles vermieden werden, wodurch dem Schiffer die Verantwortung für sein Schiff genommen wird. Man soll ihm seine Aufgabe erleichtern, die darin besteht, sein Schiff sicher durch alle Gefahren hindurchzusteuern. Es dürfen ihm aber keine Handhaben geboten werden, die ihn dazu verleiten können, die Bewegungen seines Schiffes oder die Vorgänge in seiner Umgebung auch nur einen Augenblick außer acht zu lassen. Denn dadurch erhöht sich die Havariegefahr, und es ist gerade das Gegenteil von dem erreicht, was beabsichtigt war.

¹²⁾ Vgl. Bock u. Natermann, Wasserberuhigungseinrichtungen der umlauflosen Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals — Versuchsergebnisse, Bautechn. 1928, S. 158.

Der Stollenbau für die III. Zuleitung der Wasserversorgung der Stadt München.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. Walter Kiefer, München.

Allgemeines.

Die Stadt München bezieht ihr Trink- und Nutzwasser aus dem etwa 40 km südlich gelegenen Quellengebiet im Mangfalltal, wo es durch Quellstollen und Grundwasserfassungen in hygienisch vollkommener Weise

etwa dem Wege der früheren Zuleitungen, jedoch mit geringerem Gefälle folgte (Abb. 1), und der südlichen Trasse, die fast ganz als Stollen gebaut auf dem kürzesten Wege den Mühlthaler Sammel- und Verteilungsschacht mit dem neu zu erbauenden Hochzonenbehälter bei Kreuzpullach ver-

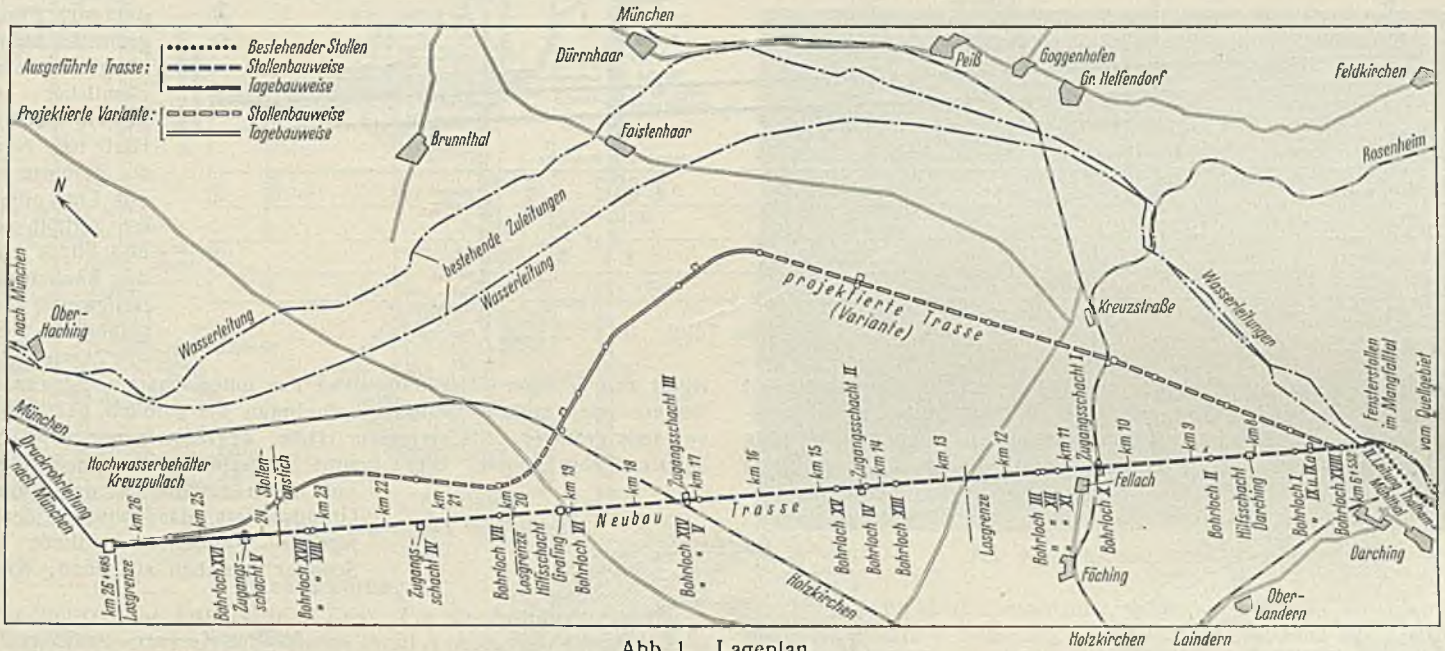


Abb. 1. Lageplan.

gefaßt wird. Die seit Jahrzehnten bestehenden beiden Zuleitungen mußten nun in den Jahren 1927 bis 1931 durch eine III. Zuleitung ergänzt werden, da sie nicht mehr in der Lage waren, den Bedarf der gewaltig gewachsenen Stadt zu befriedigen.

Bei der Ausschreibung der III. Zuleitung war der interessante Vergleich zwischen zwei Trassen gemacht worden, der nördlichen, die zwar länger, aber zum großen Teil in offener Baugrube herstellbar war und

bindet und somit den dazwischenliegenden Höhenzug in einer größten Tiefe von rd. 40 m unterfährt (Abb. 2a u. b). Die Länge dieses Stollens beträgt rd. 18 km, wozu noch eine 2,5 km lange, in offener Baugrube herzustellende Strecke kommt. Dieser Vergleich führte zur Wahl der südlichen Trasse, die im Herbst 1927 in drei Losen an die Münchener Bauunternehmungen Mühlhofer & Pihler, Edwards & Hummel—Alfred Kunz und Leonhard Moll vergeben wurde.

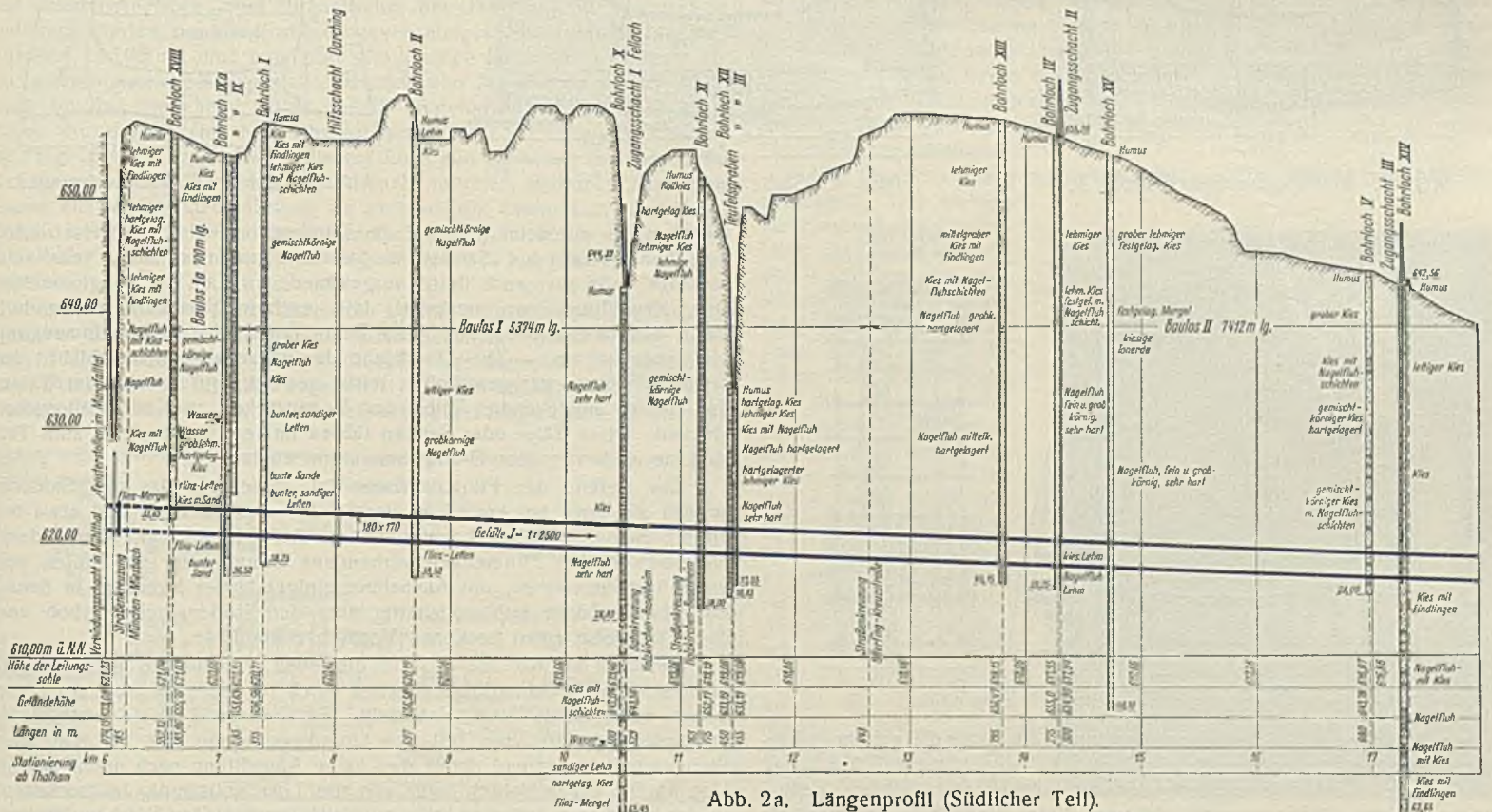


Abb. 2a. Längenprofil (Südlicher Teil).

der Wasserhebungskosten am nächsten Angriffsschacht, da man annahm, daß das Grundwasser am Ende des Loses Ia bereits tiefer als der Stollen anstehen würde.

Geologische Verhältnisse.

Die Untergrundverhältnisse waren durch eine Reihe von Bohrungen (Abb. 2a u. b) soweit als möglich erforscht und ergaben folgendes Bild:

Der Untergrund besteht aus Molasse, und zwar in der Tiefe aus der älteren oder oligozänen Molasse, dem sog. Flinz, der grüne bis blaue Färbung zeigt und bei ziemlicher Homogenität meist große Härte hat. Nach kurzer Berührungsdauer mit Luft oder Wasser zerfällt er aber und bildet eine für den Baubetrieb sehr lästige und zum Teil gefährliche, schmierige Masse. Darüber

lagert sich in einer Stärke von etwa 1 m unter scharfer Abgrenzung die jüngere oder miozäne Molasse, ein braun bis gelblich gefärbter Flinz von teils größerer, teils geringerer Härte, der etwa einem sehr fest gelagerten Lehm ähnelt. Diese braune Flinzschicht, die ebenfalls an der Luft rasch zerfällt, ist der Träger des Grundwassers, das zwischen den überlagerten Kalkschottern fließt. Diese Schotter bestehen aus Sand, Kies und

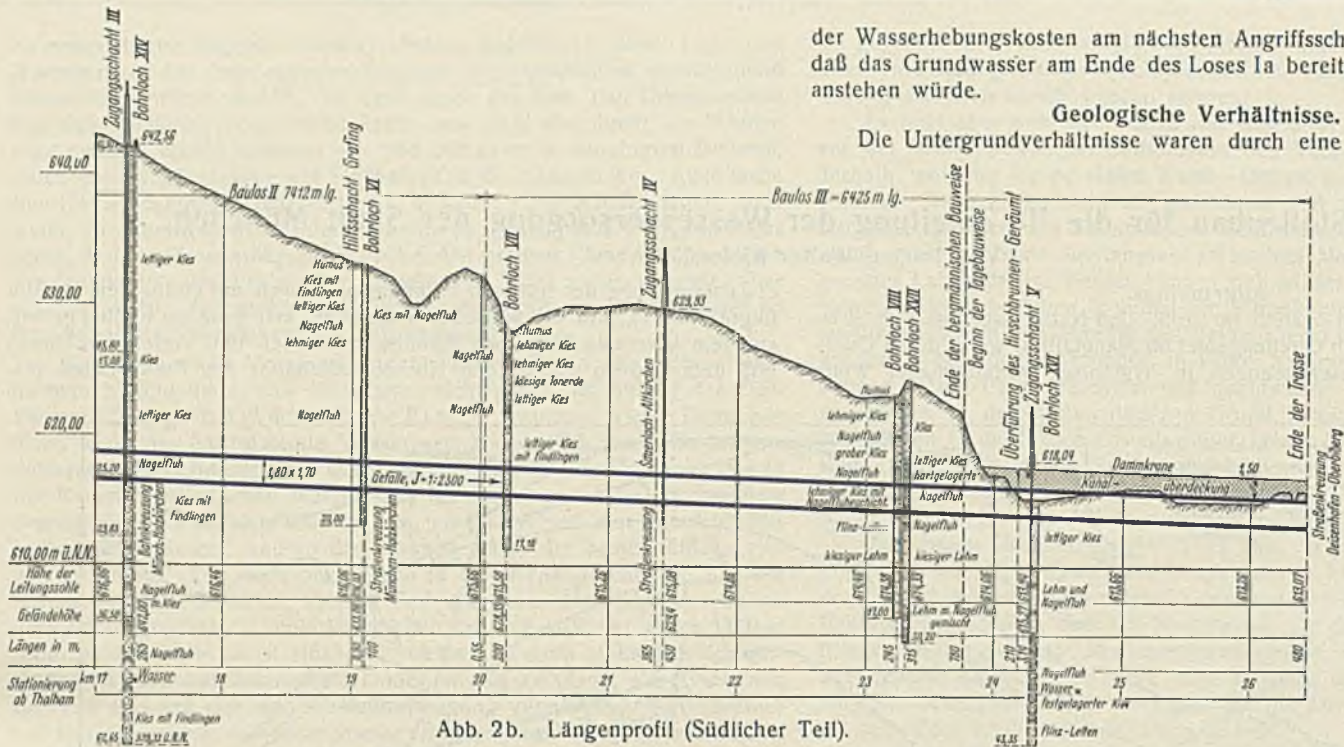


Abb. 2b. Längensprofil (Südlicher Teil).

Vom Los I wurde mit Rücksicht auf die vorteilhafte Verwendbarkeit eines bereits bestehenden Fensterstollens im Mangfalltal zur Wasserableitung, wobei keine Wasserhebung, sondern nur ein Längstransport nötig wurde, das 700 m lange Los Ia abgespalten (s. Abb. 2a) und der Firma

lagert sich in einer Stärke von etwa 1 m unter scharfer Abgrenzung die jüngere oder miozäne Molasse, ein braun bis gelblich gefärbter Flinz von teils größerer, teils geringerer Härte, der etwa einem sehr fest gelagerten Lehm ähnelt. Diese braune Flinzschicht, die ebenfalls an der Luft rasch zerfällt, ist der Träger des Grundwassers, das zwischen den überlagerten Kalkschottern fließt. Diese Schotter bestehen aus Sand, Kies und

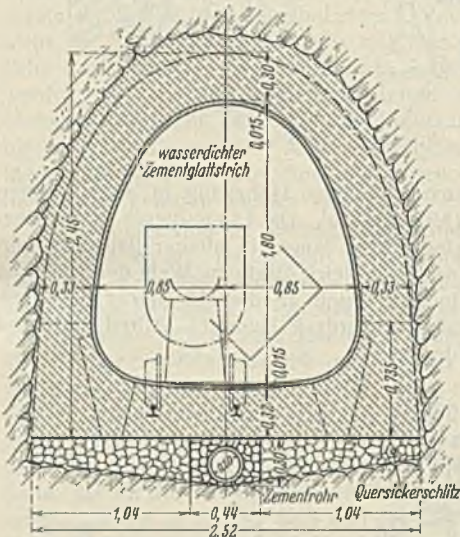


Abb. 3. Stollenquerschnitt. Profil A.

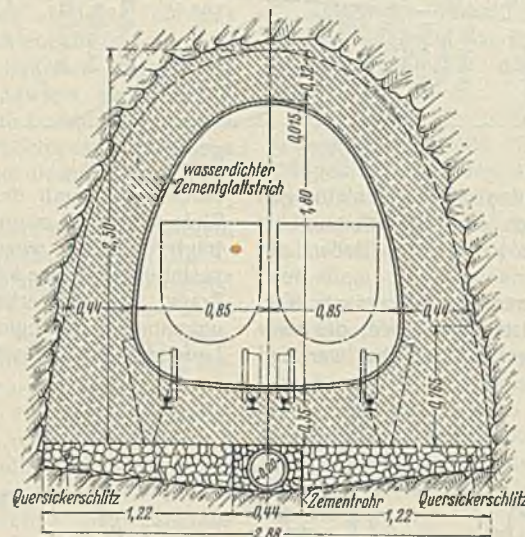


Abb. 4. Stollenquerschnitt. Profil B.

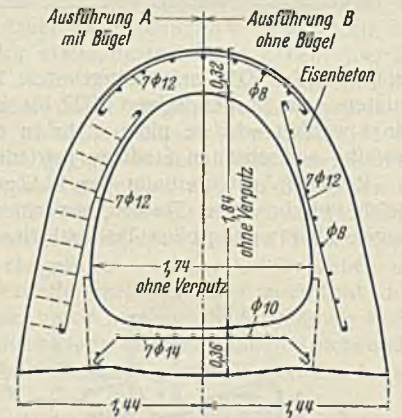


Abb. 6. Leichte Eisenbewehrungen.

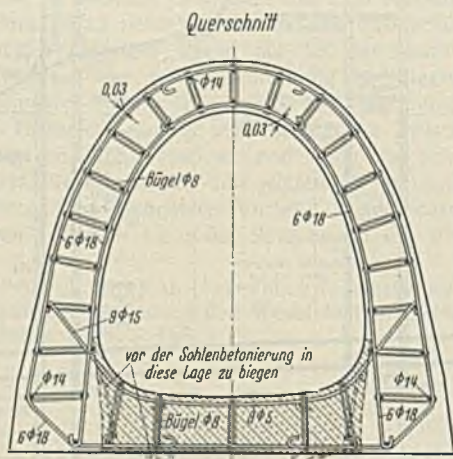


Abb. 5. Schwere Eisenbewehrung.



Edwards & Hummel—Alfred Kunz übertragen, die damit die von ihr in Verbindung mit einem anderen Bau im Jahre 1927 vorgetriebene 500 m lange Stollenstrecke unter Verwendung der vorhandenen Installationen weiterbauen konnte. Man versprach sich von dieser Maßnahme die Ersparnis

Geröllen bis zu Steinen von 80 cm Durchm. und sind teilweise durch den Lehmgehalt des Sandes in loserem Zusammenhang, teils sehr sandarm, teils aber auch durch ausgeschiedenen Kalk zu Konglomeraten (sog. Nagelfluhe) lose versintert, teils auch in Felsbänke verwandelt, wenn sich die Versinterung ohne Behinderung durch Lehmeinmischung vollziehen konnte. — Die Oberfläche der wassertragenden Schicht, des braunen Flinzes, war gewöhnlich leicht gewellt, und zwar in der Weise, daß die so entstehenden Taler- und Höhenrücken quer zur Stollennachse strichen. Diese Täler oder Senken führen immer Grundwasser, zum Teil sind sie auch von dem Grundwasserstrom überstaut.

Das Gefälle der Flinzoberfläche ist größer als das des Stollens, so daß sie etwa bei km 9,5 an der Stollensohle erscheint und etwa bei km 8,2 über dem Scheitel verschwindet. Auf dieser Strecke wurde demnach das in den Flinzsenken vorhandene Grundwasser im Stollen von unten her angefahren, mit Ausnahme einiger kurzer Strecken, in denen die Flinzoberfläche sich wellenartig über den Stollenscheitel erhob und damit zeitweise einen trockenen Vortrieb ermöglichte.

Zwischen km 6,5 und 7,5 ist die oben geschilderte große Regelmäßigkeit der Schichtenfolge abgelöst durch regellose Verwerfungen von blauen und gelben Flinz-, Sandstein-, Schwemmsand-, Kies- und Nagelfluheschichten, die zum Teil den Grundwasserstrom bis auf 8 m über Stollenscheitel spannen, dabei aber keine Abdichtung nach unten bilden. Von km 9,5 gegen Norden lagen alle drei Lose vollständig im trockenen, in der Konsistenz zwischen rollig und felsig wechselnden Kieskonglomerat.

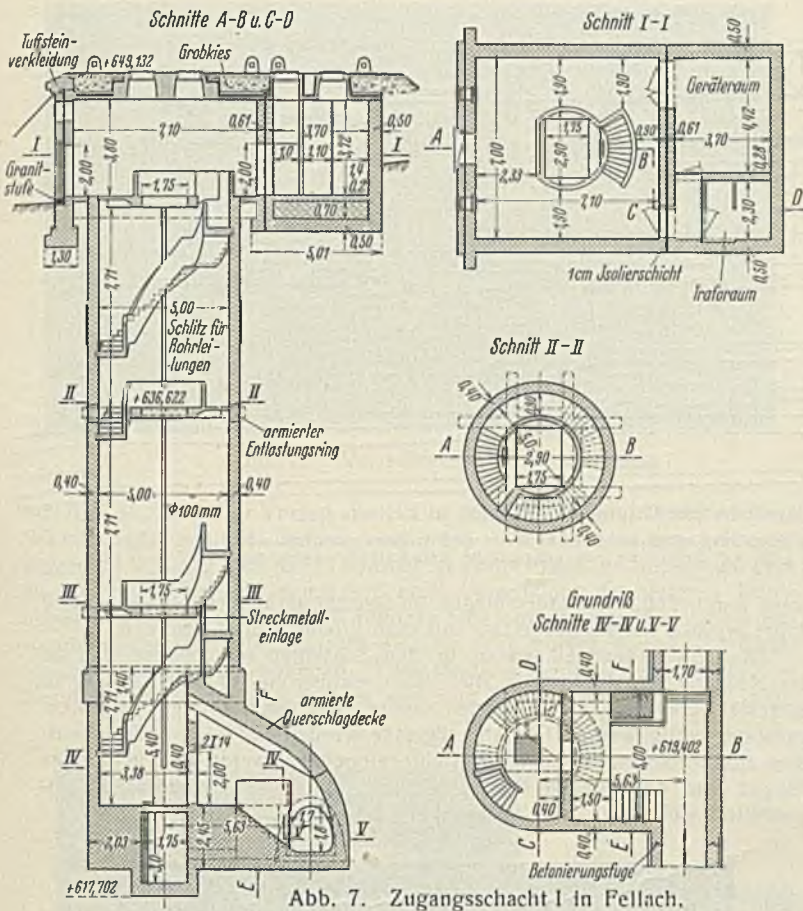


Abb. 7. Zugangsschacht I in Fellach.

Bauausführung.

Der Stollen liegt im Gefälle 1:2500. Für die Ausführung waren je nach dem Gebirgsdruck ein schwächeres Profil A (Abb. 3) und ein stärkeres Profil B (Abb. 4) vorgesehen, das noch durch verschiedene Arten von Eiseneinlagen (Abb. 5 u. 6) zeitweise verstärkt werden mußte. Die Innenfläche des Stollens ist durch einen in vier Lagen aufgetragenen, gebügelten Putz geglättet und gegen das Eindringen von Grundwasser abgedichtet.

Zugänglich ist der Stollen durch fünf Schächte, die nach einheitlichem Plan (Abb. 7) geräumig angelegt und mit allen für die Reinigung und Pflege der Anlage nötigen Räumen und Einrichtungen, wie Pumpen-, Telefon- und Transformatoren-Anlagen versehen sind. Außerdem waren für Bauzwecke noch zwei Hilfsschächte bei Darching und Grafing aufgeföhren worden, um die Vortriebstrecken einigermaßen gleichmäßig aufzuteilen und damit eine möglichst gleichzeitige Fertigstellung aller Lose zu gewährleisten. Die gestellte Bauzeit von 2 1/2 Jahren konnte denn auch für den Stollenbau selbst überall eingehalten werden, obwohl sie durch die außerordentlichen Schwierigkeiten im Los I zeitweise ernstlich in Frage gestellt war. Da in diesem Lose alle typischen Erscheinungen bei diesem ganzen Stollenbau gesammelt auftraten, und zwar sowohl in bezug auf die Bodenverhältnisse als auch auf die daraus sich ergebenden Arbeitsweisen, soll nachstehend der Bauvorgang in dem von der Firma Mühlhofer & Pfahler, München, ausgeführten Los I ausführlich erläutert werden.

Installation: Bei der durch den Vertrag vorgeschriebenen, knappen Bauzeit war eine leistungsfähige Maschinenanlage (Abb. 8) von vornherein Grundbedingung. Als Kraftquelle war zunächst Überlandstrom zum Preise von 10 Pfg/kWh angeboten. Der Ruf häufiger Störungen ging diesem Netz voran, das durch seine weitverzweigten, auf Holzmasten

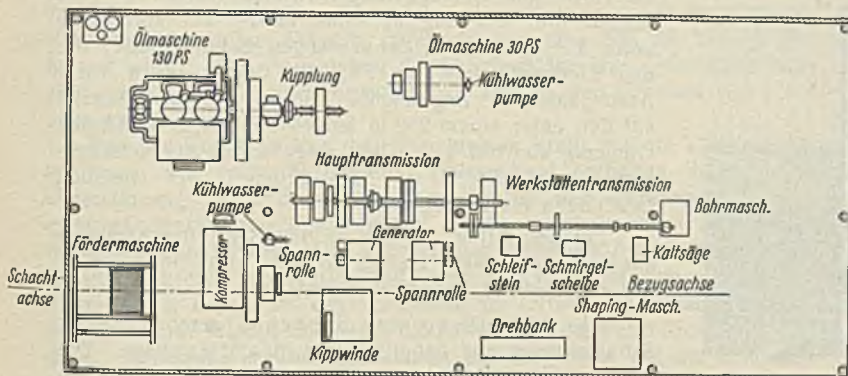


Abb. 8. Maschinenhausgrundriß für Schacht Fellach und Darching.

montierten 10 000-V-Leistungen unter den im Alpenvorland sehr häufigen und besonders heftigen Gewittern naturgemäß oft zu leiden hatte. Diese Tatsache, zusammen mit dem Strompreise, dessen Höhe für einen Dauerabnehmer ohne Spitzenkraftansprüche wenig reizvoll erschien, veranlaßte die Unternehmung auf Grund sorgfältiger Vergleichskalkulationen zur Aufstellung von Dieselmotoren zur eigenen Energieerzeugung. Da mit Wasserhaltung im Los I nicht gerechnet werden konnte, wurde dementsprechend sowohl der Schacht Darching als auch der Schacht Fellach in gleicher Anordnung zunächst mit je einem 130-PS-Zweizylindermotor als Hauptkraftquelle ausgestattet. Als Reservemaschine wirkte auf die gleiche Transmission ferner je ein 30 PS starker kompressorloser Dieselmotor. Beide Motoren waren über Reibungskupplungen unabhängig voneinander auf die Haupttransmission zu- und abschaltbar (Abb. 9).

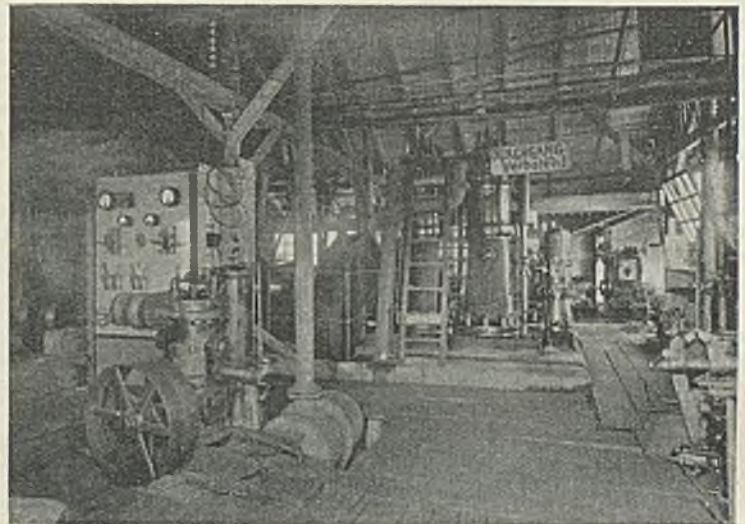


Abb. 9. Teil des Maschinenhauses in Darching.

Für die Elektrizitätserzeugung diente je eine 40-kW-Gleichstrommaschine für 110 V Spannung. Die niedrige Spannung und die Stromart wurden absichtlich gewählt mit Rücksicht auf die in dem engen Stollen unvermeidbaren Berührungen mit den Lichtleitungen, die bis zur Brust führten und deren Isolation daher nicht stets und überall als einwandfrei vorausgesetzt werden konnte. Zur Gewinnung der Preßluft für die Bohr- und Abbauhämmer sowie die Bohrschärfanlage wurde je ein Hochdruckkompressor für 7 bis 8 atü bei 11 m³/min angesaugter Luft aufgestellt mit unmittelbarem Riemenantrieb von den großen Dieselmotoren.

Die Bewetterung wurde zwecks rascher Abführung der Sprenggas vor Ort saugend eingerichtet. Im Stollen waren Blechlütten von 250 mm Durchm. an einbetonierten Haken am First aufgehängt, die von einem Hochdruckventilator unter Unterdruck gesetzt wurden. Bis etwa 1000 m nach beiden Seiten ließen sich die Stollen von einem Schacht aus recht gut entlüften. Dann wurden Bohrrohre angefahren und die Luttenrohre mittels Luttenventilator, der durch Preßluft angetrieben war, an diese Bohrrohre angeschlossen.

Alle Baracken waren möglichst nahe um den Schacht (vgl. Abb. 10) aufgestellt. Das wichtigste Element der Einrichtung, das für die Leistung des Vortriebes von ausschlaggebender Bedeutung bleibt, ist die Förderung. Ausgehend von der Länge der Fahrstrecken und der zu erwartenden Leistungen des Vortriebes, wurde die Lokomotivgröße festgelegt. Die Breite durfte nicht über 60 cm und die Höhe nicht über 1,2 m bemessen werden, da sonst ein Ausweichen in ausbetonierten Stollen nicht möglich gewesen wäre (s. Abbild. 3 u. 4). Auch die Länge der Lokomotive mußte wegen deren Schrägstellung auf der Weiche begrenzt bleiben. Diesel- und Benzinlokomotiven schieden aus, da



Abb. 11. Fördergefäß.

die Auspuffgase in dem kleinen Querschnitt unerträglich gewesen wären. Als billigste und sicherste Betriebsart kamen somit nur elektrische Akkumulatorschlepper in Frage. Die Spurweite betrug 500 mm im Los I, in den übrigen Losen 400 mm. Man rechnete mit einem Normalzug von sechs Tunnelhuten mit je 0,5 m³ Inhalt und bemaß daher den Förderkübel im Schacht mit 3,5 m³ Inhalt (Abb. 11), so daß also jeweils ein ganzer Zug auf einmal abgefördert werden konnte. Auf diese Weise war am Schachtboden eine flotte Abarbeitung und Rückleitung der ankommenden Züge in den Stollen ohne besondere Rangierarbeit möglich. Während in Darching der Hilfschacht in der Stollenachse angelegt war und somit ein beiderseitiges Vorbeifahren der Züge am Aufzug erlaubte, mußte in Fellach über Spitzweichen (Abb. 12) an den seitlich im Zugangsschacht liegenden Aufzugskübel anrangiert werden.

Um eine möglichst gleichmäßige Belastung der Maschinenanlage zu erhalten, waren das Kübelgewicht + 1/2 Nutzlast durch ein 4,5 t schweres Gußgegengewicht ausgeglichen, so daß die Fördermaschine für Auf- und Abfahrt gleichen Kraftbedarf hatte. Als Winde war eine vollständig

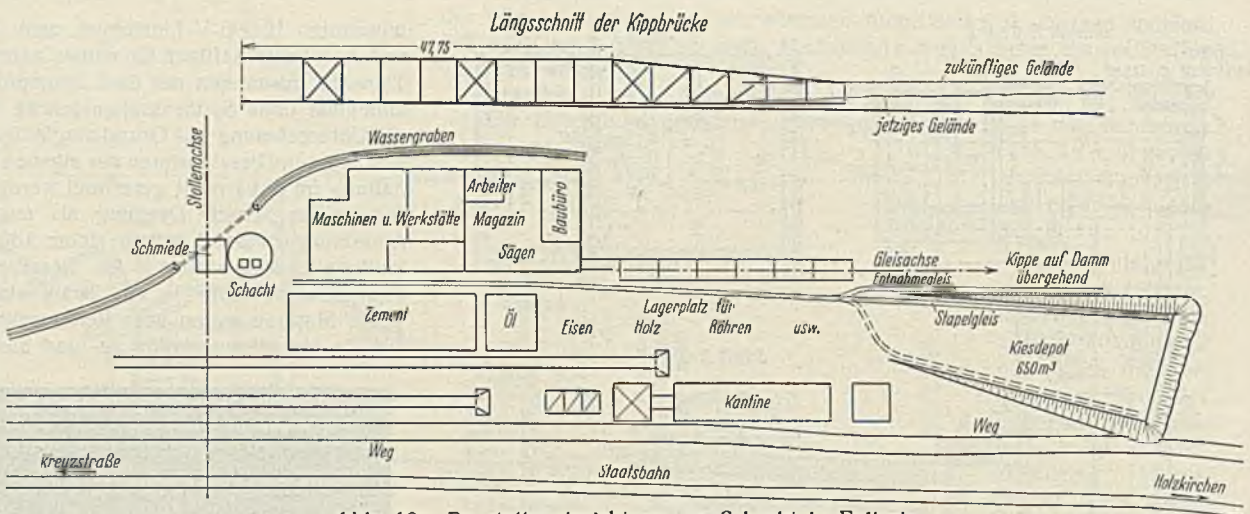


Abb. 10. Baustelleneinrichtung am Schacht in Fellach.

Diese betrieblich sehr günstige Anordnung bringt allerdings auch eine erhöhte Brandgefahr mit sich. Die Baustelle Schacht Fellach erlitt auf diese Weise eine gelegentliche vierwöchige Unterbrechung.

Sonst waren keinerlei Förderanlagen im Schacht vorhanden. Schienen und Rohre wurden in gleicher Weise mit dem großen Kübel gefördert.

Die Betonmaschinen waren in den Schächten so montiert, daß sie das Mischgut unmittelbar in die Hunte entleerten, so daß ein Zug in kürzester Zeit fertiggemacht werden konnte, ohne daß besondere Zwischentransporte nötig waren. Die Abmeßgefäße wurden von Kies- und Zementsilos aus beschickt, die in die Schächte eingehängt waren und in die das Füllgut von der ebenen Erde aus durch Rohre oder Holzrutschen eingeschüttet wurde.

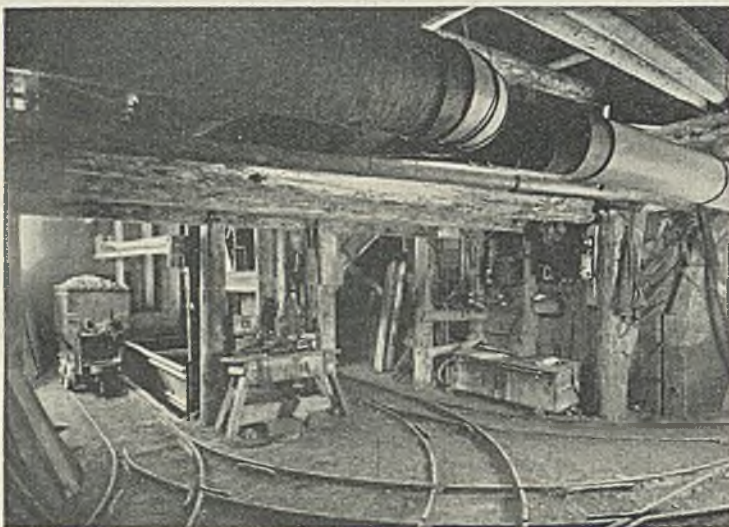


Abb. 12. Schachtboden in Fellach.

selbsttätige, elektrisch ferngesteuerte Aufzuanlage von 6000 kg Tragkraft (von Schmidt & Sohn, Nürnberg) (Abb. 9 rechts im Hintergrunde) montiert, die sich durch Betriebsicherheit und die Einsparung jeglicher Bedienungs-mannschaft gut bewährt hat. Die Winde hatte Schneckenradantrieb mit Zahnradvorgelege und war dadurch gerade noch selbsthemmend. Der Aufzugskübel selbst war als Kippkübel angefertigt und warf das Fördergut auf die Hängebank in vier Schurren (Abb. 13) in gleichmäßiger Verteilung auf vier 0,75-m³-Loren, die von Hand auf die Kippe geschafft wurden. Die Fördertürme wurden mit Rücksicht auf die beim Kippen großer Kübel auftretenden Nebenkkräfte und Erschütterungen kräftig ausgeführt (Abb. 13).



Abb. 13. Baustelle Schacht Darching.

(Kühltürme, Zementhalle, Förderturm, Hängebank, Maschinenhaus, Kippe, Kieslager.)



Abb. 14. Sortierbagger in Talham.

Insgesamt waren einschließlich des Gerätes für die Wasserhaltung auf den Schächten Fellach und Darching in Betrieb: 9 Dieselmotoren mit insgesamt 500 PS, 56 elektrische Motoren und Dynamos mit insgesamt 1300 PS, 39 Zentrifugalpumpen, 10 km Gleis, 12 km Rohrleitungen, 6 Kompressoren mit insgesamt 39 m³/min angesaugter Luft, 3 Akkumulatorenlokomotiven, 2 Betonanlagen, 1 Quetschwerk, 2 Förderanlagen usw.

Mit dem Los I war die Gewinnung und Aufbereitung des Betonkieses für die Lose Ia, I und II vergeben worden. Die Stadt München besitzt in Talham eine Kiesgrube mit so ausgezeichnetem Naturkies, daß nur mehr die Steine über 50 mm absortiert werden mußten, um eine von 0 bis 50 mm sehr gut abgestufte Kornzusammensetzung zu erhalten. Für die Gewinnung des Kieses wurde ein Eimerkettenbagger mit angebauter Sortieranlage und 12 m langer Eimerleiter angesetzt und zur Hoch- und Tiefbaggerung verwendet (Abb. 14). Vom Bagger fuhr der Zug zu einer etwa 1 km entfernten, unter 45° geneigten, 50 m langen Schüttrutsche, die den Kies auf einen am Fuß des Berges, etwa 40 m tiefer laufenden Zug abgab. Dieser warf das Material auf den unter einem 250 m langen Fahrgerüst stehenden Güterzug ab (Abb. 15). Die Anlage hat in zwei Sommerperioden rd. 70 000 m³ Kies geliefert, bei täglichen Leistungen bis zu 450 m³.

Für den Winter wurden an den Baustellen Kieslager angelegt, die durch Dampf so weit aufgetaut wurden, wie der tägliche Bedarf es erforderte.

Die Abteufung der Schächte geschah mittels Schwenkkrans und behelmäßiger Maschinenanlage. Der Boden bestand in Fellach aus harter Nagelfluhe mit leichten, lehmigen Kiesschichten. Es wurde daher zunächst

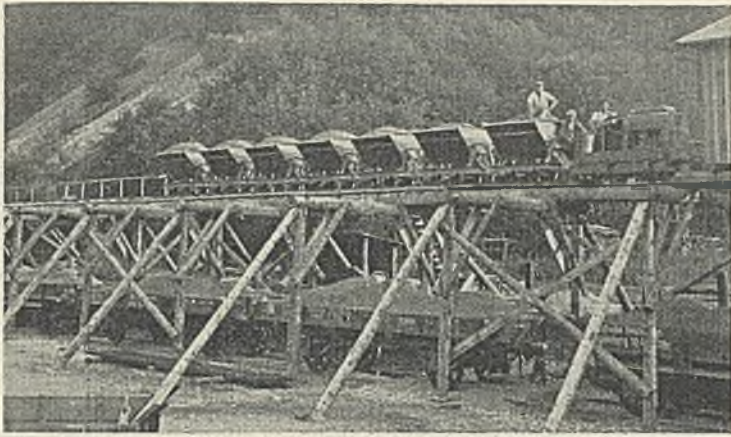


Abb. 15. Verladerampe in Talham.

lediglich ein teilweiser Verzug aus 4 m langen Brettern eingebracht und mit Schachtringen aus $\square 12$ befestigt (Abb. 16). Da man zunächst, getäuscht durch die Wirkung des harten Frostes, geglaubt hatte, es mit reinem Fels zu tun zu haben, und somit von einer Verschalung des unteren Teiles abgesehen hatte, waren die Wirkungen des eintretenden Tauwetters um so überraschender, als nunmehr einzelne losgefrorene Steine und Sandbrocken abzubrechen anfangen. Dies führte zu einer vollständigen Verziehung des Fellacher Schachtes und zur Wahl einer sofort gesetzten,

wiedergewonnen werden können, auf so langen Strecken nicht leicht tragbar, um so weniger, als es sich hierbei zum Teil um ziemlich kräftige Rahmen gehandelt hätte.

Ferner mußte der Vortrieb auf alle Fälle das Profil vollständig plangemäß und sauber herstellen, um die Ausbruchbogen setzen zu können. Auf einzelnen Strecken wurde später diese Rüstung probeweise eingesetzt (Abb. 18), aber als unpraktisch wieder verlassen, insbesondere auch deshalb, weil die in das Betonprofil reichenden Bauswellen nur auf sehr umständliche Weise entfernt werden konnten. Man griff daher von vornherein auf die Ideen Rzihas zurück, der die Betonschalungsrahmen als tragende Konstruktion ausbildete und die Erdschalung durch Wechselrahmen stützte, und entwickelte ein Bausystem, ähnlich der bekannten Kunzschens Rüstung, die in den übrigen Losen verwendet wurde, ohne jedoch deren Nachteil zu übernehmen; daß nämlich bei druckhaftem Gebirge die Holzkeile der Reiter sich im Eisen verbeißen und sich nur mit schweren Schlägelhieben oder mit Stemmeisen lösen lassen, wodurch der Druck besonders bei rolligem Kies sofort wächst. Es wurden daher zur Stützung der Ausbruchbogen, die aus $\square 10$ bestanden, oben gegabelte, eiserne Stelzen verwendet, die sich durch einen Winkel auf den Betonring abstützen (Abb. 19). Um ihnen den nötigen Sitz zu geben, wurde der Winkel mit einer Schraube gegen eine Klemmplatte im Innern des Betonringes gespannt. Die Stelze sitzt so einwandfrei fest und kann selbst stärkstem Gebirgsdruck widerstehen, ohne sich zu verdrehen oder irgendwie zu verkanten. Andersseits läßt sich die Stelze aber mit einem einfachen Hebel nach Lösung der Klemmschraube selbst bei stärkstem Druck ohne Schlagen ausbauen. Besondere Vorteile besitzt diese Rüstung durch die Vermeidung von Holzteilen im Betonprofil. Wiederholt waren

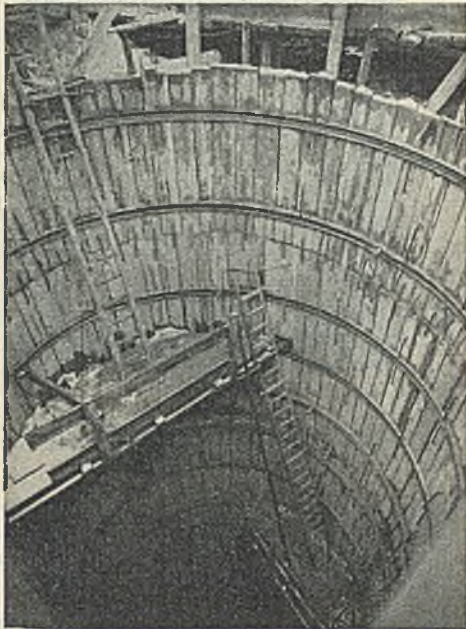


Abb. 16. Schachtverzug in Fellach während der Abteufung.

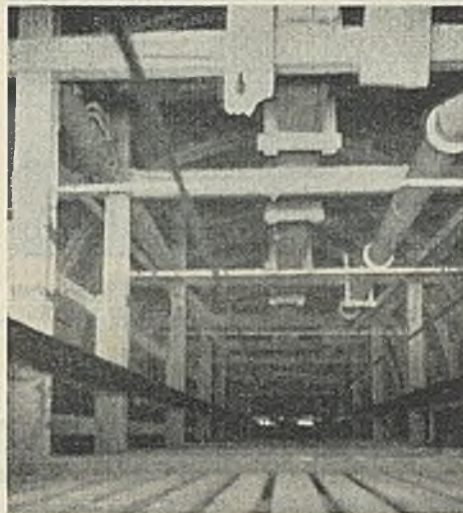


Abb. 17. Schacht Darching.

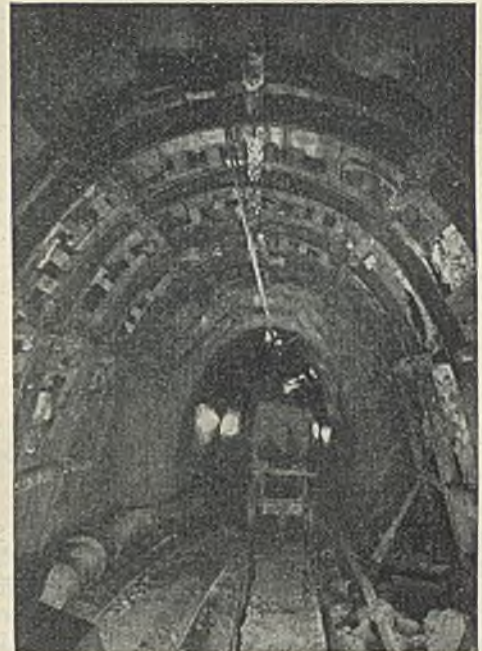


Abb. 18. Tunnelbahnhof im Stollen C.

vorgepfändeten Schalung bei der Abteufung des Darchinger Schachtes, wo alle 1,80 m ein Ring eingehängt und mit 2 m langen Dielen ausgesteckt wurde (Abb. 17). Der Durchmesser betrug bei beiden Schächten 5,80 m, die Tiefe 25 und 35 m.

Die Richtungsablotung für die Stollen geschah mittels eines besonderen, zu diesem Zweck beschafften Lotgerätes, das aus drallfreiem Drahtseil mit schweren Bleisenkeln bestand, die zur Schwingungsdämpfung mit großen Flügeln in Öl tauchten. Vorsorglich wurde in der Entfernung von etwa 100 m an jedem Schacht zur Vergrößerung der Basis ein Bohrloch oder ein kleiner Schacht abgeteuft, von dem aus die Lotung verbessert wurde. Die Genauigkeit der Durchschläge war dementsprechend eine große. Die Abweichungen hielten sich in den Grenzen von 1 bis 2 cm nach Höhe und Breite.

Für den Vortrieb kam bei dem kleinen Profil nur ein Vollausschub in Frage, der keine beengenden Holzstempel enthalten durfte. Die Unterstützung der Erdschalung, mit der bei dem gebräuchlichen Gebirge zunächst überall gerechnet werden mußte, geschah somit am zweckmäßigsten durch Eisen. Die Verwendung tragender Ausbruchbogen war an sich zunächst sehr verlockend, mit Rücksicht auf den geräumigen Platz an der Brust, der das Vorziehen der Ortsweiche zwischen Brust- und Betonende erlaubt und damit die Arbeitsleistung wesentlich erleichtert hätte. Andererseits ist aber der Verlust der Ringe, die bei der Unsicherheit des Gebirges nur in den wenigsten Fällen beim Betonieren hätten

in nassen Strecken bei großem Gebirgsdruck Ausbruchbogen abgesprengt worden, so daß es einerseits mit großer Gefahr verbunden gewesen wäre, hier Umbolzungen vorzunehmen. Andererseits durfte der Gebirgsdruck dem nassen Beton nicht zugemutet werden. Hier konnten diese eisernen Stelzen nebst Ausbruchbogen nun mit einbetoniert werden. Das herausstehende Ende der Stelzen wurde nach Erhärtung des Betons mit dem Schneidbrenner abgenommen, und der Betonring konnte abmontiert werden. Der gelegentlich auf diese Art auftretende Materialverlust ist ohne Bedeutung im Vergleich zu den etwa sonst nötigen Umbolzungskosten, wobei außerdem zu befüchten ist, daß z. B. ein etwas weich eingebrachter Beton von der Erdlast aus dem First herausgedrückt

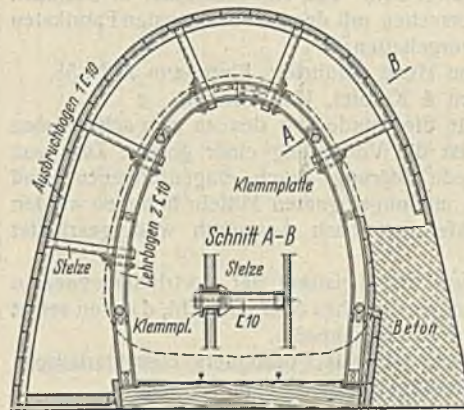


Abb. 19. Tunnelrüstung nach Dr.-Ing. Kiefer (DRP. a.).

wird, so daß die planmäßige Betonstärke gar nicht erhalten werden kann. Der Abstand der Baue betrug 1,20 m. Untereinander waren sie durch je vier Sprieße ausgesteift. Der Betonring saß auf einer genau geschnittenen Schwelle, die als Gleisschwelle liegenblieb (Abb. 20). So gut sich diese Rüstung auch bewährt hat, so kann sie die Schwierigkeiten eines jeden Vollausruches nicht ganz aus der Welt schaffen, der immer darin besteht, daß hier höchstes Tempo des Vortriebes zugleich mit größter Genauigkeit des Einbaues, der ja gleichzeitig Betonrüstung ist, von den gleichen Menschen erreicht werden soll. Es kämpfen hierbei die gegensätzlichen Interessen hart miteinander: Die auf ihre Prämie hinarbeitenden Mineure und Schachtmeister, der mit Konventionalstrafen drohende Bauvertrag, die Rentabilität des gesamten Personalstandes, von dem die Vortriebsmannschaft nur bis 15% ausmacht, der Ehrgeiz der verschiedenen miteinander im Wettbewerb stehenden Vortriebe treiben um jeden Preis vorwärts, während außerdem auch eine möglichste Genauigkeit des Bauwerks erreicht werden soll. Ein wesentliches Erschwernis bedeutete die Enge der Betonringe, die nicht erlaubte, zwei Hunte aneinander vorbeizubringen (Abb. 4), da deren Inhalt mit Rücksicht auf die langen Förderstrecken nicht kleiner angenommen werden konnte als zu 0,5 m³.



Abb. 20.
Stollen während des Vortriebs.
(Sohlenbeton noch nicht eingebracht.)



Abb. 21. Vortrieb im Trockenem.
(Kies und Nagelfluhe. Rechts Bohrmaschine,
links Abbauhämmer.)



Abb. 22.
Vortrieb im Trockenem.
(Grüner Flienz.)

Wünschenswert wäre es gewesen, wenn der Stollen auch nur 20 cm breiter gewesen wäre, so daß zum wenigsten eine Weiche unmittelbar vor Ort hätte angelegt werden können, wodurch das Abschleppen von Hand bis in die ausgeschaltete Betonstrecke, wo die nächste Weiche lag, weggefallen wäre. Dadurch hätte der Vortrieb bei gleicher Mannschaftszahl und gleichem Einbau seine Leistung noch etwas verbessern können.

Der Vortrieb war im allgemeinen bei trockenen Verhältnissen mit 1 Mineur, 1 Mineurhelfer und 1 Schlepper besetzt; die Aufsicht wurde für zwei Vortriebe von einem Drittelführer ausgeübt. Gearbeitet wurde stets in drei Schichten zu 8 Stunden. Bei schwierigen und unsicheren Verhältnissen war vor Ort dauernd ein Drittelführer eingeteilt, der aber mitarbeitete, da er nur 3 bis 4 Mann zu beaufsichtigen hatte und durch Prämien am Vortrieb beteiligt war.

Als Werkzeuge kamen Preßluft-Bohr- und Abbauhämmer in Betracht. Nach langen vergleichenden Versuchen mit den verschiedensten Fabrikaten wurden folgende Werkzeuge vorgehalten:

Bohrmaschinen (nur von Hand geführte): Flottmann A. N. 55,
Abbauhämmer: Fröhlich & Klüpfel, Unterbarmen.

Von großer Bedeutung für die Minderung des an sich sehr großen Verschleißes der Maschinen ist die Vorhaltung einer großen Zahl von Reservemaschinen, so daß jede Störung durch eingedungenen Sand u. dgl. nicht durch den Mineur mit ungeeigneten Mitteln behoben werden muß, sondern daß ohne Aufenthalt nach Austausch weitergearbeitet werden kann.

Nach kurzer Einlaufzeit war die Leistung der Vortriebskolonnen in allen Strecken auf ein regelmäßiges tägliches Maß gebracht, das von selbst mit der aufgefahrenen Bodenart zusammenpaßte.

Im allgemeinen lassen sich folgende, besonders charakteristische Gruppen der verschiedenen Leistungen herauschälen:

1. Material: standfester, leicht lehmiger Kies, bei dem der Verbau sich nur über den oberen Teil des Firstes erstreckt und ohne Verbruchsgefahr bis zu 2 m hinter der Brust zurückbleiben kann.

Werkzeug: Abbauhämmer, der für den Einstich Schollen mit rd. 0,25 m³ ergibt.

Belegschaft: 1 Mineur, 1 Helfer, 1 Schlepper.

Leistung: regelmäßig 7 Baue zu 1,20 m = 8,40 m.

Ausnahme-Spitzenleistung 8 Baue zu 1,20 m = 9,60 m: fix und fertiger Vortrieb einschl. Verbau.

2. Material: Nagelfluhe mit Kieseinlagerung, unsicheres Material, Verbau muß auf 1 bis 2 m folgen wegen der Gefahr, daß Klötze niederfallen.

Werkzeuge: Bohrmaschine + Chloratit, Abbauhämmer, sehr schlechte Wirkung der Sprengung, da die Schüsse zum Teil in den Kieseinlagerungen verpuffen. Systematische Abschnitte unmöglich, da die Nagelfluhbänke ganz unregelmäßig liegen und daher Stück für Stück abgearbeitet werden müssen. Herstellung eines sauberen Ausbruchprofils wegen der Schalung nötig, aber sehr schwer, da der Boden für den Abbauhämmer viel zu hart ist und einzelne Pufferschüsse oft mehrere m³ herausreißen.

Belegschaft: 1 Mineur, 1 Helfer, 1 Schlepper.

Leistung: regelmäßig 2 bis 3 Baue = 2,40 bis 3,60 m ganz nach den Zufälligkeiten der Bodenschichten. Fix und fertiger Vortrieb einschließlich Verbau.

Zwischen diesen beiden äußersten Kiesvorkommen schwankten die im Stollen D und in den ersten 1000 m des Stollens C aufgefahrenen Bodenarten im Los I sowie in allen Stollen der Lose II und III täglich in fortwährendem Wechsel von Meter zu Meter (Abb. 21).

3. Material: blauer, fester Flienz über den ganzen Stollenquerschnitt bei hinreichender Überdeckung über dem First, die gegen Wassereintritt sichert (Abb. 22).

Werkzeug: Bohrhammer + Chloratit, Abbauhämmer, 12 Bohrlöcher auf 5,5 m² mit 5 bis 6 kg Sprengstoff, Abwurf 0,80 bis 1,20 m je nach Zähigkeit. Das Profil wird mit dem Abbauhämmer sauber nachgeputzt.

Belegschaft: 1 Mineur, 1 Hilfsmineur, 1 Schlepper.

Leistung: 5 Abschlüsse täglich im Abstände von 4 Stunden, dann 4 Stunden zum Stellen der Ringe und Einziehen der Firstschalung. Das Abstecken der Seitenwände und das Ausheben der Fundamente wird vom Nachtrieb (2 bis 4 Mann einschichtig) mittels Abbauhämmer geleistet. Herausschießen des Vollausruches rentierte sich nicht, da sonst zu viel Überprofil entstanden wäre.

Regelmäßige Leistung 4 bis 5 Baue = 4,80 bis 6,00 m. Aus diesem Material bestanden die ersten 475 m des A-Stollens.

4. Material: Schwimmsandschichten zwischen gelbem Flienz und Sandstein, Lehm, Sickerwasser.

Belegschaft: 1 Drittelführer, 1 Mineur, 1 Hilfsmineur, 1 Schlepper.
Werkzeug: Abbauhämmer.

Leistung: 1 Bau täglich = 1,20 m. Brust verschalt, Sprengen ausgeschlossen. Vollständige Getriebezimmerng einschl. Einlegen der Holzdränage.

Aus diesem Material bestanden die letzten 300 m des A-Stollens.

5. Material: Gelber Flienz bis halbe Stollenhöhe, darüber Kies, Nagelfluh von großer Härte und Sickerwasser.

Werkzeug: Abbauhämmer. Sehr unsicheres Gebirge. Schließen unmöglich. Brust teilweise verschalt. Einbau vollständig geschlossen.

Belegschaft: 1 Mineur, 1 Helfer, 1 Schlepper.

Leistung: 2 Baue täglich = 2,40 m fix und fertig ausgebrochen, verschalt und mit Holzdränage versehen. Aus diesem Material bestand der C-Stollen von 1000 bis 1500 m, d. h. bis fast an den Durchschlag gegen den B-Stollen.

6. Material: gelber und brauner Flnz, darunter von halber Stollenhöhe ab der härtere blaue Flnz, trocken oder leichtere Sickerwässer.

Werkzeug: Abbauhammer, Schießen wegen der Nähe des Grundwassers unmöglich.

Belegschaft: 1 Drittelsführer, 1 Mineur, 1 Helfer, 1 bis 2 Schlepper.

Leistung: 3 bis 4 Baue täglich = 3,60 bis 4,80 m; fertiger Verbau bis etwa 1,50 m über Sohle, einschl. Holzdränage, darunter wird Vollausbruch und Verbau vom Nachtrieb besorgt. Aus diesem Material besteht der B-Stollen von Ring 0 bis 133 und 200 bis 650.

7. Material: mürber, gelber und brauner Flnz bis zur halben Stollenhöhe, darüber Kies mit eingelagerten Nagelfluhplatten und Findlingen bis zu 70 cm Durchm. Aus dem Kies strömen 40 bis 60 l/sek Wasser

von oben auf die Belegschaft herunter. Die Wasserschüttung folgt dem Vortrieb dauernd mit.

Werkzeug: Abbauhammer, Schlegel, Spitzseisen, Meißel, Pflasterhämmer, Holzwolle, Winden, Hebebaume.

Belegschaft: 1 Schachtmeister, 1 Mineur, 1 Helfer, 1 bis 3 Schlepper in sechsständigem Wechsel.

Leistung: 9 m/Monat. Vollkommener Verbau einschl. Brustschalung. Schwierigste Verhältnisse.

Wie außerordentlich wechselvoll die tägliche Leistung war, zeigt die Aufstellung Abb. 23, wobei betont werden muß, daß der Arbeitswille und der Fleiß aller beteiligten Arbeiter außerordentlich groß und stetig war, um so mehr als auch seitens der Unternehmung durch entsprechende Prämien und gerechte Abwicklung aller Akkorde für vollständigen Arbeitsfrieden auf den Baustellen gesorgt wurde. Die Schwankungen in den Tagesleistungen rührten lediglich von dem starken Wechsel in den Formationen her, der in dieser Schroffheit und Unstetigkeit wohl bei wenig Stollenbauten anzutreffen sein dürfte.

„A“ Stollen. (Vom Schacht Darching nach Süden zum Durchschlag gegen Los la.) Täglicher Vortrieb nach Zahl der Baue je 1,20 m und nach m der Sohle.

Table with columns for months (1928, 1929), days (1-31), and summary columns (Zus., m, Ins-gesamt m, Arbeits-tage, Je Tag m). Includes text annotations like '5. Aug. Wasser-einbruch ab 14. Sept. große Pumpen'.

Leistung je Tag = 775,40 / 241 = 3,21 m/Tag.

Bodenart: Mai bis November 1928, Grünblauer Flnz, felsig.
Methode: Schrämbetrieb, Schießbetrieb 1 Mineur, 2 Schlepper.

Bodenart: Dezember 1928 bis Mai 1929, Sande, Sandstein, Lehm.
Methode: Schrämbetrieb 2 Mineure, 2 Schlepper.

„B“ Stollen. (Vom Schacht Darching nach Norden zum Durchschlag gegen Stollen C.)

Table with columns for months (1928, 1929, 1930), days (1-31), and summary columns (Zus., m, Ins-gesamt m, Arbeits-tage, Je Tag m). Includes text annotations like 'Aufzugseinbau', 'Wasser-einbruch', 'Verstärkung der Pumpanlage'.

Leistung: 859 / 357 = 2,40 m/Arbeitstag.

Anstich bis Durchschlag 859 m = 17 Mon. = 50,5 m/Mon. = 2,02 m/Tag.
Methode: Reiner Schrämbetrieb 3 bis 4 Mann (bis 5 Mann, da Drittelsführer oft mitarbeitet).

Bodenart: Mai bis August 1928 = 160 m brauner Flnz mit Wasserandrang, August 1928 bis Februar 1929 = 80 m Rollkies, Findlinge und starker Wasserandrang.
Februar 1929 bis September 1929 = 619 m Flnz, wechselnd trocken und naß.

„C“ Stollen. (Vom Schacht Fellach gegen Süden zum Durchschlag gegen Stollen B.)

Table with columns for months (1928, 1929, 1930), days (1-31), Baue m, Ins-gesamt m, Ar-beits-tage, and je Tag m. Includes annotations like 'Brand' and 'Umstellung'.

Leistung: 1604 / 409 = 3,92 m/Arbeitstag.

1604 / 17 Mon. = 94,30 / 25 Tage = 3,77 m/Tag.

Bodenart: April 1928 bis Januar 1929 Kies und Nagelfluhe, trocken. Methode: Schließ- und Schrämbetrieb, 1 Mineur, 2 Schlepper. Bodenart: Januar 1929 bis September 1929, Kies, Lehm, Nagelfluh, Flinz, Wasser. Methode: Schrämbetrieb, 2 Mineure, 1 bis 2 Schlepper.

„D“ Stollen. (Vom Schacht Fellach gegen Norden zum Durchschlag gegen Baulos 2.)

Table with columns for months (1928, 1929, 1930), days (1-31), Baue m, Ins-gesamt m, Ar-beits-tage, and je Tag m. Includes annotations like 'Brand' and 'Wiederaufbau'.

Leistung: 2135 / 447 = 4,77 m/Tag.

Bodenart: Kies und Nagelfluhe, trocken. Methode: Schließ- und Schrämbetrieb, 1 Mineur, 2 Schlepper.

Abb. 23. Zusammenstellung der Leistungen.

In Abb. 24 sind die Werte der Tabellen graphisch aufgetragen, wobei deutlich die Abhängigkeit der Durchschnittsleistung von den Bodenverhältnissen, insbesondere aber vom Grade des Wasserzudranges zutage tritt.

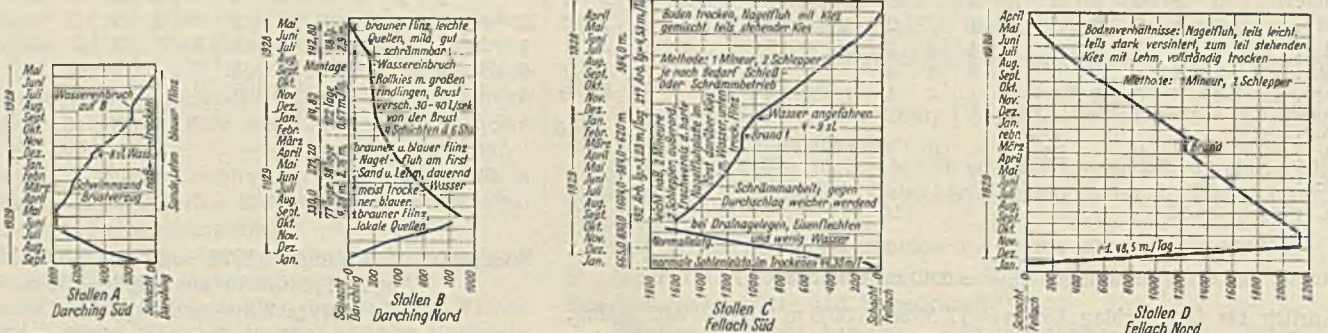


Abb. 24.

Zusammenfassend läßt sich folgendes sagen:

Wenn auch der Vortrieb auf den trockenen Strecken ungefähr normalen Erwartungen entsprach, so wuchsen die Schwierigkeiten in den nassen, sowohl durch den starken Wasserdrang als auch noch zusätzlich durch die Eigenart der Bodenlagerung besonders schwierigen Strecken auf ein Maß, daß durch keinerlei Maßnahmen, selbst nicht durch den lange in ernste Erwägung gezogenen Schildvortrieb eine Erleichterung erwartet werden konnte. Nur die unermüdete Zähigkeit und Ausdauer aller beteiligten Ingenieure, Aufsichtsorgane und Arbeiter führte zu einer wenn auch außerordentlich langsamen Überwindung der gefährlichen und sehr kostspieligen Strecken im B-Stollen.

Für die Betonierung wurde im allgemeinen Stampfbeton mit 200 kg Zementzusatz für 1 m³ fertigen Beton verwendet. Manche besonders druckhafte Strecken mit viel Wasserandrang wurden in Eisenbeton ausgeführt. Während das Einbringen des Eisenbetons in der Sohle und in den Uimen keine besonderen Schwierigkeiten bereitete, erforderte die Herstellung des Firstschlusses große Sorgfalt. Brachte man einen zu trockenen Beton ein, so wurde die Anbindung an die Eisen eine mangelhafte und somit der Zweck der Eiseneinlagen verfehlt. Andererseits zeigte jede Art von plastischer Mischung die Neigung, sich nicht in die Höhe treiben zu lassen und dem Firstschließenden immer wieder entgegenzulaufen.

In der leichteren Bewehrung, die wenigstens eine gewisse Bewegungsfreiheit gestattete, wurden nach genügender Einwirkung aller Beteiligten diese Schwierigkeiten überwunden, während bei der schweren Bewehrung der First nur zum Teil in der gewöhnlichen Weise vor Kopf aufgefüllt werden konnte. Der Rest wurde durch Einspritzung mittels Preßluft eingebracht.

Die Betonierung folgte dem Vortrieb im allgemeinen in einem Abstände von 10 bis 20 m und wurde so ausgeführt, daß die Sohle zunächst wegließ und erst nach dem Durchschlag eingebaut wurde.

Der Arbeitsgang der Betonierung gestaltete sich etwa folgendermaßen:

Hinter dem Vortrieb folgte mit einer je nach den Verhältnissen stark wechselnden Belegschaftstärke der sog. Nachtrieb, der den Vollausschlag an den Seiten und in den Gewölbefundamenten herstellte, soweit er nicht vom Vortrieb erledigt war, die Richtung der Baue kontrollierte und dann korrigierte, wenn sie durch die Wirkung der Abschüsse oder den Fahrbetrieb gelitten hatte, Betonpritschen anlegte und täglich so viel Ringe ausschaltete, daß für den Vortrieb und die Betonkolonne am nächsten Tage das nötige Material bereitstand. Es bedurfte bei jeder Bodenart jeweils gewissenhafter Überlegung und verschiedener Versuche, um die wirtschaftlichste Massenverteilung zwischen Vortrieb und Nachtrieb zu finden. Bei dem engen Raum und dem Zurückliegen der Tunnelweiche konnte das grundlegende tunneltechnische Prinzip, den Vortrieb soweit als irgend möglich von allem zu entlasten, was später getan werden kann, nicht immer richtig bleiben. Eine besonders schwierige Arbeit war bei der Vorbereitung der Betonierung in den nassen Strecken zu leisten, wo der Stollen vom Vortrieb vollständig ausgezimmert worden war. Wie bei der Bodenbeschreibung schon gesagt wurde, kam das Wasser meistens von oben und sickerte oder strömte in Mengen von kleinen Rinnsalen bis zu armdicken Strahlen über die Bergmannspfähle herab. Gegen diese Wasser mußte der Beton aufs peinlichste geschützt werden, wozu dünne Blechplatten verwendet wurden, mit denen der Stollen vollständig austapeziert wurde. Das hinter dieser Blechwand herunterlaufende Wasser wurde unten in der Sohle durch Dränageröhren und Sickerpackungen in die Mitteldränge geleitet. Die Abriegelung und Sammlung kleiner Quellen, die manchmal doch ihren Weg durch die Blechstöße fanden, war stets eine überaus mühselige Arbeit, die vom gesamten Personal größte und dauernde Aufmerksamkeit erforderte. Eine gute Sicherheit gegen Durchdrücken von Wasseradern durch den Beton bildete vor allem anderen dessen gut flüssige Konsistenz bei etwa 10% Wasserzusatz. Die Porenfüllung dieser Masse bildete bei dem vorhandenen Wasserdruck einen hinreichend großen Widerstand, um Ausschwemmungen von Zement mit Sicherheit zu verhindern. Auch erwies sich der so eingebrachte Beton als völlig wasserdicht, was für die Herstellung des Putzes von grundlegender Bedeutung war. Allerdings erforderte dieser Wasserzusatz den Verzicht auf einen Teil der Druckfestigkeit des Betons, was sich jedoch durch eine große Reihe unvergleichlicher Vorteile des Gußbetons reichlich lohnte. Im Hinblick auf die Erfahrungen an einer Reihe von großen Betonbauten der jüngsten Zeit darf ausdrücklich davor gewarnt werden, der einseitigen Überschätzung von Festigkeitshöchstwerten nachzugeben,

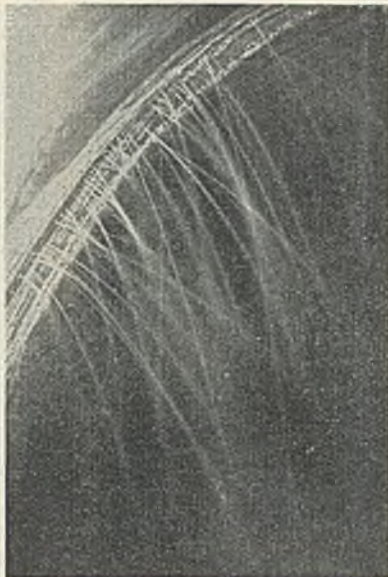


Abb. 25. Grundwasseraustritt aus einem Haarriß.

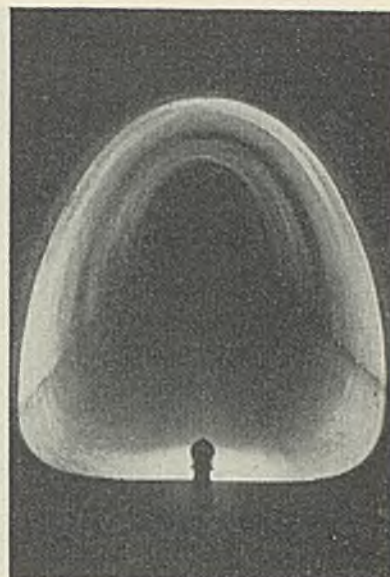


Abb. 26. Fertiger Stollen.



Abb. 27. Abdichtungsarbeiten am Verputz.



Abb. 28. Abdichtungsarbeiten am Verputz.

die rein laboratoriumsmäßig an Würfeln festgestellt werden, ohne daß man hinreichend die Schwierigkeiten beim Einbringen eines Betons in dichte Eisengeflechte beachtet, oder die Einflüsse, denen ein nicht wasserdichter Beton in der Atmosphäre, im Grundwasser oder bei Flußbauten ausgesetzt ist. Bei allen diesen Bauten bedeutet hohe Betonfestigkeit erst in Verbindung mit Betondichtigkeit einen Vorteil.

Eine Betonierkolonne bestand aus 5 bis 7 Mann, die je nach Bedarf täglich 4,80 bis 7,20 m betonierten. Unter der Mannschaft befanden sich 1 bis 2 Einschaler, die das Herausnehmen der eisernen Ausbruchringe und Stelzen und das behelfmäßige Abbolzen durch Holzlaschen und Sprieße besorgten. Betoniert wurde grundsätzlich nur in einer Schicht während des Tages. Der Mehraufwand an Beton war, wie bei allen Stollenbauten im gebirgen oder Schußgebirge, ziemlich groß und lag je nach Profil und Bodenart zwischen 35 und 50%. Die Art des Bodens verlangte an sich fast stets eine Verschalung. Da nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden konnte, ob diese Schalung nach einigen Tagen während des Betonierens würde wieder weggenommen werden können, oder ob sie zum mindesten in Teilen zur Verspannung mürbe gewordener Schollen oder rollig gewordener Kiesnester würde verbleiben müssen, war es stets nötig, zunächst die Schalung so weit zu machen, daß auf alle Fälle innerhalb derselben noch genügend Platz für die planmäßige Betonstärke blieb. Konnte sie dann doch herausgenommen werden, was vor allem in den Seiten während des Betonierens oft möglich war, so war der Mehraufwand gegeben. Im Schußgebirge, vor allem aber in der ganz unüberschaubar gelagerten Nagelfluhe, rissen viele Schüsse große Löcher, die ebenfalls durch Beton ausgefüllt werden mußten. Eine übermäßig genaue Herausarbeitung des Ausbruchprofils durch Vor- und Nachtrieb, die an sich natürlich stets angestrebt wurde, zeigte, ernsthaft

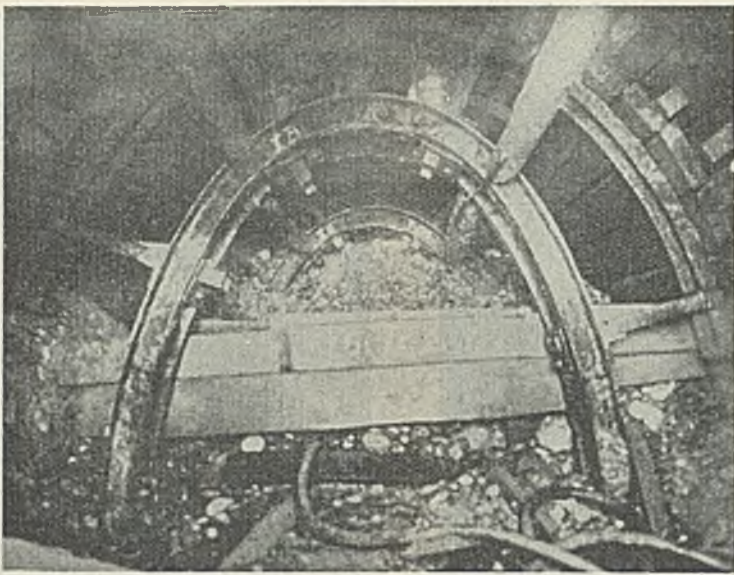


Abb. 29. Wassereinbruch im Stollen B (5. August 1928).

durchgeführt, solche verzögernde Wirkungen auf das Bautempo, daß der hierfür nötige Mehraufwand in keinem Verhältnis zu den Kosten des Mehrbetons stand. Außer in gut stechbaren, aber ohne Ausbau stehenden Lehmböden dürfte sich ohne Mehrbeton kein Stollen bauen lassen, da selbst im vollständig in Getriebezimmern über Eiserringe verbauten Querschnitt durch die Aufkeilung der Bergmannspfähle, die Pfändung, schon ein beträchtlicher Mehraufwand an Beton verursacht wird.

Zur Fernhaltung des Grundwassers und zur Dichtung gegen Wasserverluste wurde der Stollen mit einem inneren Glattputz versehen, der in vier Lagen (1:4, 1:3, 1:2 mit Schweißsand, Glättung mit reinem Zement) aufzubringen war. Während der Stampfbeton genügend rau aus der Schalung kam, wurde die Oberfläche des Eisenbetons vollständig mit Preßluftstockhämmern mit groben Zähnen aufgerauht und sodann mit Stahlbürsten gereinigt. Dem Putz kommt als Innendichtung dieses Stollens eine um so größere Bedeutung zu, als er bis zu 8 m Wassersäule zu tragen hat. Mit welcher Gewalt das Wasser seinen Weg suchte, zeigt Abb. 25, die den Wasseraustritt aus einem haarfeinen Querriß im Verputz darstellt. So einfach und sauber der Putz in trockenen bzw. wasserdicht betonierten Strecken angefertigt werden konnte (Abb. 26), so schwierig war die Herstellung des Putzes auf wasserdurchlässigen Betonstrecken und ohne Verwendung von Sika und Trikosal überhaupt nicht möglich, so gern man diese Materialien auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Reinheit des Putzes von chemischen Beimengungen erspart hätte. Insgesamt mußte für 70 000 RM Sika und Trikosal verwendet werden. Das Zusammendrängen des durch den Beton laufenden Wassers auf einzelne Röhrchen (Abb. 27) bzw. aus Papier gefertigte Tropfer (Abb. 28) war eine denkbar mühselige und kostspielige Arbeit.

Eine weitere ungeheure Erschwernis beim Aufbringen des Putzes in den nassen Strecken bildete, soweit sie nicht wasserdicht betoniert waren, die außergewöhnliche Härte des Grundwassers, die bis zu 120 deutsche Härtegrade beträgt. Dieses Wasser neigt nach eingehenden Laboratoriumsversuchen im Momente einer Druckminderung oder einer

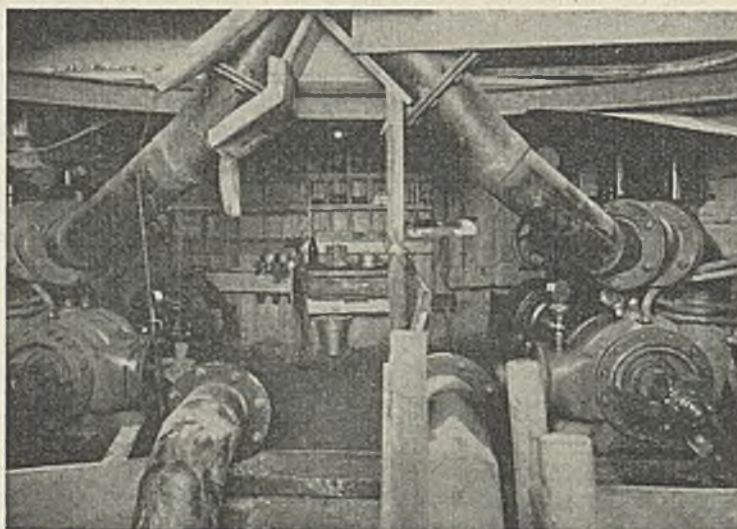


Abb. 30. Hochdruckpumpenanlage im Schacht Darching.

Temperaturänderung, beides Erscheinungen, die an der Stolleninnenfläche gegeben sind, zur Ausscheidung von Kalkspat, der eine so starke Kristallisationskraft entwickelt, daß an einigen Stellen, an denen diese Erscheinungen in besonders krasser Weise auftraten, trotz monatelanger Arbeit der Putz immer wieder abgesprengt wurde.

Einen ganz besonderen Umfang nahm im Los I die Wasserhaltung an, die über $\frac{1}{2}$ Million verschlang. Bei der Schachtabteufung in Darching wurde zur allgemeinen Überraschung in einer Tiefe von 28 m Wasser aufgefahren. Da die Anstiche der Stollen beiderseits im dichten Flinzlagen, glaubte man, nur eine dünne, über dem Flinz liegende Sickerwasserschicht aufgefahren zu haben, so daß mit weiterer Wasserhaltung nicht zu rechnen sei. Da durch scheinbares Ansteigen der Flinzdecke im B-Stollen völlige Trockenheit eingetreten war, da ferner auch die Bohrerergebnisse keine weiteren Wasserschwierigkeiten erwarten ließen, wurde der eingetretene stabile Stand der Installationen belassen. Am 5. August 1928 trat aber plötzlich im völlig trockenen Stollen B ein schwerer Firstverbruch ein, der den Stollen auf etwa 8 m mit Kies und Geröll verschüttete und eine Wasserader erschloß, die zunächst binnen einer Stunde die aufgefahrenen Strecken etwa 1 m unter Wasser setzte. Es war im obersten Segment der im Flinz natürlich unverschalteten Brust eine Fläche von rd. 1 m² ausgebrochen, durch die der Grundwasserstrom mit seinem Kiesbett hereinstürzte. Durch sofort quer eingeworfene Bretter- und Sprießbarrikaden wurde verhindert, daß der Stollen auf längere Strecken verschüttet wurde (Abb. 29).

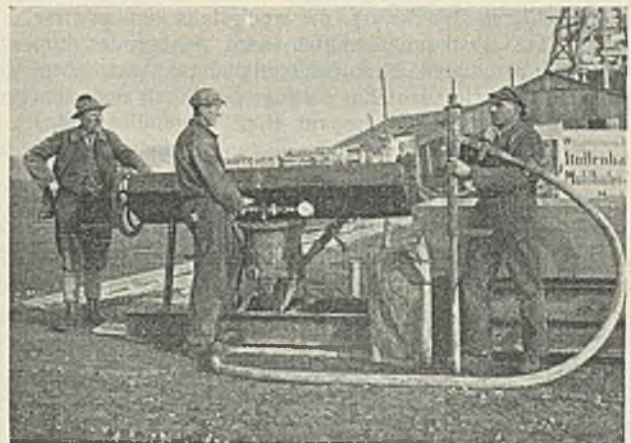


Abb. 31. Zementinjektionsgerät mit Spannsäule.

Durch Überlastung und Konzentrierung der vorhandenen Installationen konnte dann wenigstens fast bis zur Inbetriebnahme der vergrößerten Maschinenanlagen der Stollen auf vier Wochen lang wasserfrei gehalten werden. Es wurden weitere zwei Dieselmotoren von 60 und 40 PS aufgestellt. Im Schacht wurden in einem geräumigen, neuangelegten Querschlag (Abb. 30) zwei voneinander unabhängige Hochdruckpumpenanlagen von 250 mm Durchm. mit je zwei hintereinandergeschalteten Pumpenaggregaten aufgestellt. Zur Eigenerzeugung des Stromes wurde eine Dynamo von 90 kVA aufgestellt. Diese Wasserhaltung brauchte fünf Wochen Liefer- und Montagezeit und hat sich bei großer Betriebsicherheit während der ganzen Bauzeit gut bewährt. Da die Wassermenge bis zu 65 l/sek stetig wuchs und mit einer neuen plötzlichen Störung des Betriebes durch Wassereinbrüche gerechnet werden mußte, die bei der allmählich aufgefahrenen Stollenlänge sich sehr gefährlich hätte auswirken können, wurde nach kurzer Zeit die Schachtwasserhaltung nochmals durch zwei Hochdruckaggregate mit unmittelbar gekuppelten Motoren verstärkt. Übertage wurde als Reserve ferner eine 250-kW-Trafostation mit Anschluß an das Überlandwerk angelegt. Die Sammelschiene der Hauptschaltanlage konnte nun wechselseitig ganz oder teilweise von der Diesel- oder der Überlandseite gespeist werden. Damit war eine weitgehende Sicherung der Schachtförderung gegeben, die denn auch nie versagt hat.

Durch die Schwierigkeiten des B-Stollenvortriebes war die Bauzeit ernstlich in Frage gestellt, so daß das erste Wasserauftreten im C-Stollen, d. h. auf der Fellacher Seite, dazu führte, dort sofort ebenfalls eine großzügige und völlig sichere Installation zu schaffen. Es wurde zur Eigenerzeugung von Drehstrom ein 90-kVA-Generator montiert und für die Netzstromlieferung eine 300-kW-Station erstellt. Für die Schachtförderung wurden im Querschlag über dem Tunnelbahnhof drei Pumpen von 250 mm Durchmesser aufgestellt.

Die Wasserförderung zu den Schächten geschah an sich, soweit das Gefälle dazu reichte, durch behelfmäßige Holzröschen, weiterhin dann durch Längspumpen und Rohrleitungen. Diese Trennung von Wasserlängsförderung und Wasserhebung war im Bauvertrag vorgesehen und stellt die richtige Sicherheit bei einem etwaigen Absaufen des Stollens dar, mit dem stets einmal gerechnet werden muß. Es bleiben so die



Abb. 33. Schachtportal mit Tuffsteinverkleidung.

Schachtpumpen zugänglich und werden auch sonst durch die fortlaufenden Umbauten, Verlängerungen, Neuinstallationen, Beschädigungen usw. auf der Strecke nicht berührt.

Alle Kabelleitungen im Stollen wurden besonders sorgfältig verlegt und dauernd überwacht, da, wie die Erfahrung leider gezeigt hat, eine



Abb. 32.

Erstbohrung zur Zementinjektion.

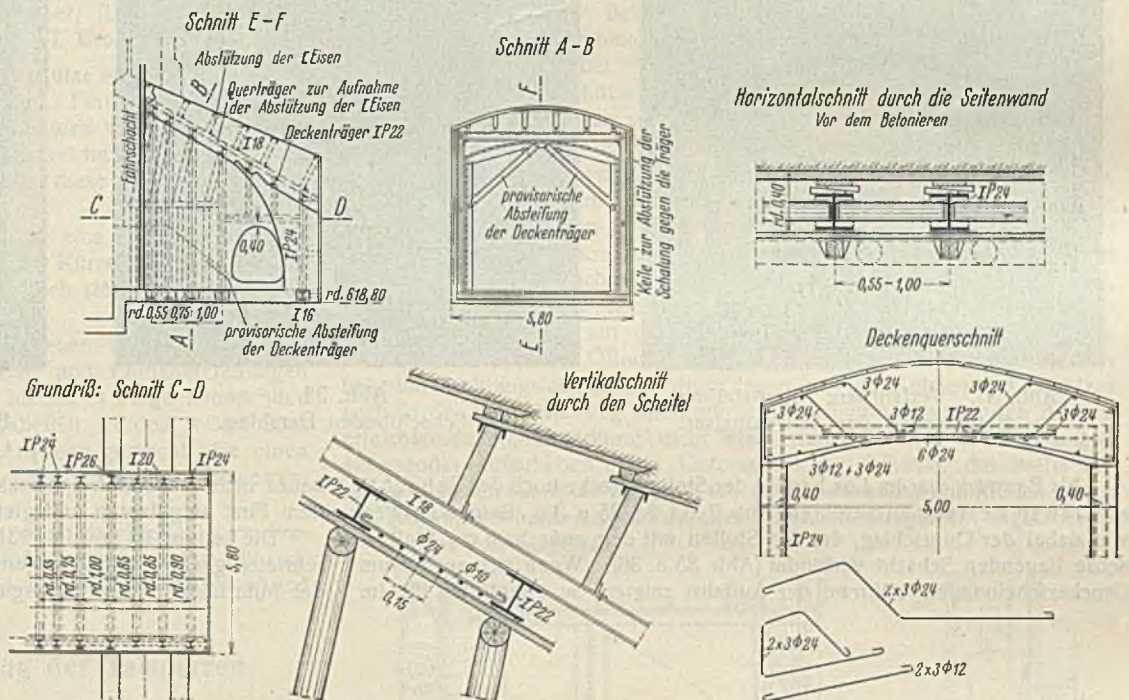


Abb. 35. Ausbau des Querschlagel im Schacht Fellach.

Spannung von 380 V in den feuchten Arbeitstätten vollauf genügt, einen Menschen zu töten. Aus diesem Grunde wurde für Lichtleitungen, die dauernd verlegt und herumgezogen werden, grundsätzlich an der weniger gefährlichen Stromart, nämlich 110-V-Gleichstrom, festgehalten, während für Kraftstrom 400- und 3000-V-Drehstrom verwendet wurde.

Für den Längstransport waren Blechrohrleitungen von 200 und 300 mm Durchm. verlegt (Abb. 20), in die das Wasser von den Pumpen gefördert wurde. Je nach Wasserandrang wurden meist unmittelbar gekuppelte Pumpenaggregate von 50 bis 200 mm in Abständen von 50 bis 200 m aufgestellt, in deren Sumpf das Wasser durch die Holzdränagen zulief. Der dauernden Reinhaltung dieser Holzkasten mußte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, was oft, besonders in triebsandführenden Strecken, sehr viel Mühe und Kosten verursachte. Für das Verlegen der Dränagekasten im Vortrieb wurden Kreiselpumpen mit Preßluftmotor und Schlauchanschlüssen bereitgestellt, so daß nicht unter Wasser gearbeitet werden mußte. Dem einwandfreien Arbeiten der ganzen Streckenentwässerung kam um so mehr Bedeutung zu, als bei den anstehenden Flinzböden bei nicht vollständiger Trockenhaltung der Sohle durch den Zugverkehr sofort eine Aufweichung und Durchknetung stattgefunden hätte. Beim Sohle einbau wurden die Holzröschen etappenweise durch Zementrohre Durchmesser 200 bis 300 mm ersetzt und die Pumpensümpfe nach Erhärtung des Sohlenbetons geschlossen. Diese Abbetonierungen waren mit beträchtlichen Schwierigkeiten verbunden, da das Wasser sofort nach Eintreiben des Verschlußkolbens in die Dränage im abriegelten Teil auf volle Spannung kam und damit oft eine Druckkraft von einigen 100 kg aufzunehmen war.

Nach Fertigstellung des Stollens wurden die besonders wasserreichen Strecken, die dem höchsten Grundwasserdruck ausgesetzt sind, einer Zementhinterspritzung unterzogen. Auf diese Weise wurde nun überall der satten Anschluß des Stollens an das Gebirge hergestellt, der vorher nicht herstellbar war, teils wegen der verbliebenen Schalung, die nicht überall glatt am Erdbreich anlag, da dieses wegen der Schräg- und Schießarbeit keine glatte Oberfläche haben konnte, teils infolge der Auskleidung des Stollens mit Blech.

Ferner schlossen sich alle durch den monatelangen Wasserlauf ausgespülten Hohlräume hinter dem Beton. Zur Ausführung wurde ein besonderer Wagen mit Trichterkessel und zwei Rührwerken konstruiert, der auf Gummirädern lief und gleichzeitig eine Kiste mit etwa 600 l Zement mit sich führte (Abb. 31). Für die Anfuhr des

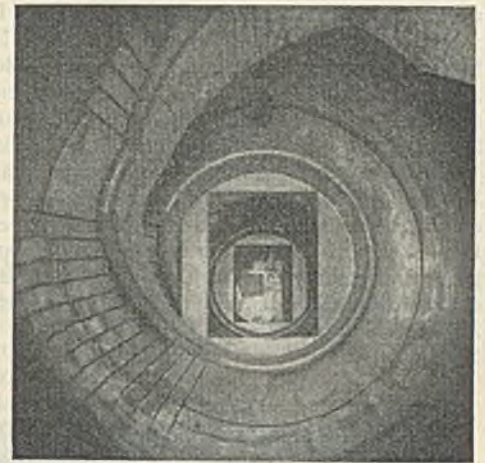


Abb. 34.

Eisenbetonwendeltreppe im Schacht Fellach.

Zementes war ein Elektrokarren mit Akkubatterie ebenfalls auf Gummirädern vorgehalten. Da der Stollen schon fix und fertig verputzt war, mußte bei der ganzen Hinterspritzungsarbeit auf peinlichste Reinlichkeit gesehen werden. Es wurde dazu bis zur Arbeitstrecke eine Hochdruck-

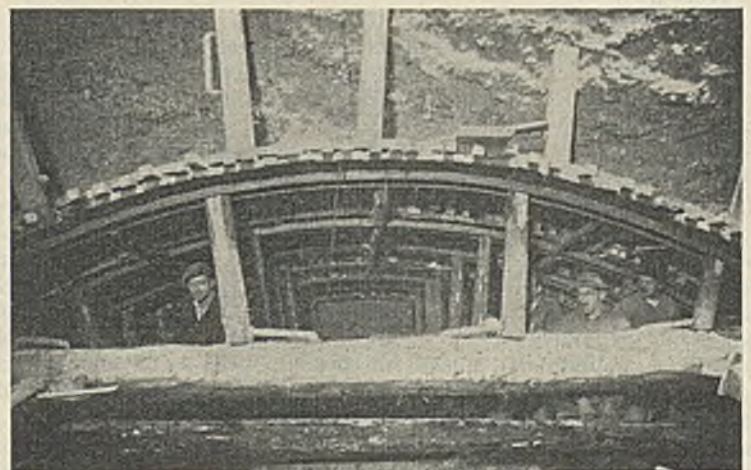


Abb. 36. Zimmerung der Querschlageldecke im Schacht Fellach.

spülleitung mit 8 atü Betriebsdruck verlegt. Die fertige Zementschlemppe wurde eingepreßt mittels Preßluft unter einem Überdruck, der der jeweiligen Schluckfähigkeit der gerade angeschlossenen Bohrung angepaßt wurde und zwischen 1,5 und 4 atü lag. Zum Einspritzen wurde meistens der First angebohrt und die Spritzanlage mittels Spannsäule angeschlossen (Abb. 32). Sehr wichtig war die Anlage von Entlastungslöchern, aus denen Luft und Wasser entweichen konnten. Der Zementverbrauch war sehr unterschiedlich. Im Durchschnitt wurden für 1 m Stollen etwa 9 Sack Zement verbraucht, ein Maß, das sich mit den Erfahrungen im ebenfalls sehr wasserreichen Los Ia ziemlich deckt. Durch reinliches Ausspülen der Arbeitstrecke nach jeder Umsetzung der Spritzenanlage und durch dauerndes Abpumpen des anfallenden Schlammes nach übertage ist es gelungen, 12 500 Sack Zement zu verarbeiten, ohne die geringste Beschädigung des fertigen Stollens.

Bereich der Nagelfluhe immer wieder gemachten Erfahrungen keineswegs dazu, den weitgespannten und wenig überhöhten First allzulange offen stehen zu lassen. Es wurde daher während des Vollbetriebes im Schachtbahnhof die Betonierung des Querschlages mittels eines Stahlskeletts ohne die geringste Störung des Vortriebes in kurzer Zeit vollzogen und damit jegliche mögliche Verbruchgefahr im Schacht behoben. Für die Betonierung der Schachtröhre wurde an die Fördermaschine eine Arbeitsbühne angehängt, die beliebig verfahrbar war (Abb. 37).

Der Hilfsschacht in Darching wurde, soweit als die in Holzbau ausgeführten Tunnelbahnhöfe reichten, durch einen in besonders schwerer Eisenbetonkonstruktion (Abb. 38) ausgeführten Stollenteil durchfahren, da hier mit Druckerscheunungen der verschiedensten Art zu rechnen war. Zur sorgfältigen Ausbetonierung des Firstes, dem auf der einen Seite infolge schwerer, nicht entfernbarer Kronenhölzer und Kappen des Holz-

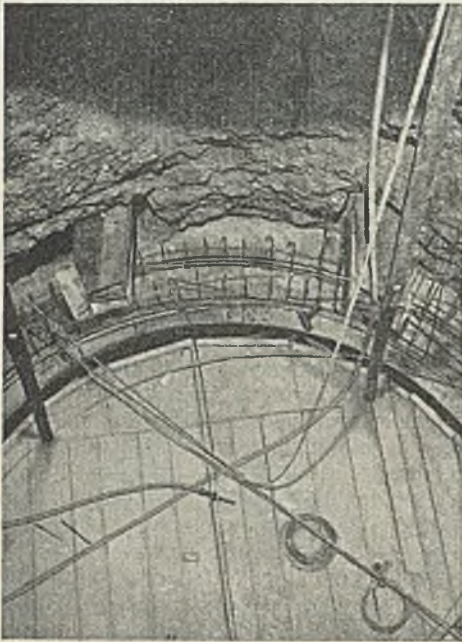


Abb. 37. Verfahrbare Arbeitsbühne zur Betonierung des Schachthalses.



Abb. 38. Schachtboden Darching.

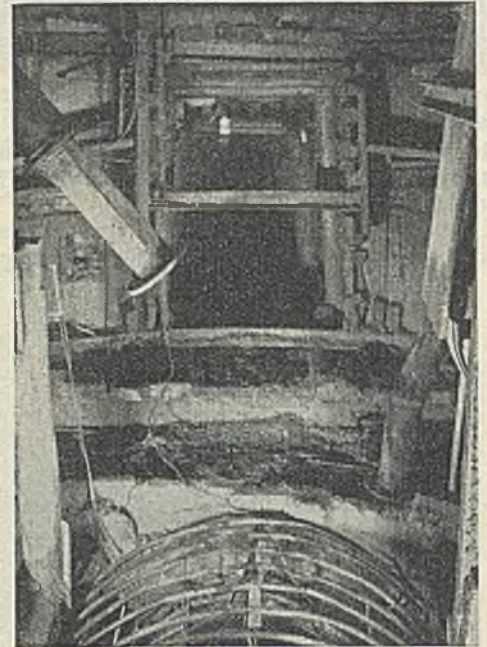


Abb. 39. Betonierstollen im Schacht Darching.

Als Bauwerk war im Los I außer der Stollenstrecke noch der Schachtausbau in Fellach auszuführen (Abb. 7, 33, 34, 35 u. 36). Bemerkenswert war dabei der Querschlag, der den Stollen mit dem außerhalb der Stollenachse liegenden Schacht verbindet (Abb. 35 u. 36). Wenn sich auch kaum Druckerscheunungen während der Aufahrt zeigten, so ermutigten die im

baues nicht einwandfrei bezukommen war, wurde ein Hilfssollen über dem First aufgeföhren und gleich mitausgegossen (Abb. 39).

Die Leitung ist im Juni 1931 nach Fertigstellung der zugehörigen Druckrohrleitungen in Betrieb gegangen und stellt eine bedeutende Neuerung der Münchener Wasserversorgung aus dem Mangfallgebiete dar.

Verschlussvorrichtungen für Grundablässe und Kraftrohrleitungen von massiven Talsperren.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Regierungsbaumeister Theuerkauf †, Meppen (Ems).

Einleitung.

Die Verschlussvorrichtungen für Grundablässe und Kraftrohrleitungen sind in der Literatur in einer Reihe von Aufsätzen behandelt worden. Dabei wurden indessen die Verschlüsse meist nur einzeln beschrieben und nicht eingehend untersucht, selten sind mehrere miteinander in Vergleich gesetzt. Im Zusammenhang sind sie sämtlich bisher noch nicht betrachtet oder kritisch gewertet. Da sich in der Praxis eine umfassende Durcharbeitung als wünschenswert erwiesen hat, soll sie für massive Talsperren in nachstehender Abhandlung angestellt werden. Der Zeitpunkt hierfür erscheint günstig, da in neuerer Zeit wesentliche, wenn auch zum Teil noch nicht ausgewertete Fortschritte auf dem Gebiete der Verschlussorgane gemacht worden sind.

Bei der großen Anzahl von Verschlussvorrichtungen kann die Abhandlung nur die hauptsächlichsten Absperrorgane und hiervon auch nur die wesentlichen Konstruktionstypen umfassen. Es sollen nur folgende Absperrorgane untersucht werden:

- I. Flachschieber und Rollschütze, II. Rohrschieber, III. Walzenschieber, IV. Düsenschieber, V. Kugelschieber, VI. Drosselklappe.

Im Abschnitt I werden nur einteilige Rollschütze behandelt, da mehrteilige in Talsperren verhältnismäßig selten sind. Ferner konnte in diese Ausarbeitung das Zylinderschütz nicht aufgenommen werden. Dies liegt daran, daß neuere hierüber angestellte umfangreiche Forschungen noch nicht zugänglich und die greifbaren Angaben über diese Absperrvorrichtung nur gering sind.

In verschiedenen der sechs Abschnitte ist eine Unterteilung nach nicht ständig gefüllten Talsperren, die häufig der Kürze halber mit „Hochwasserschutzbecken“ bezeichnet werden, und nach ständig gefüllten Talsperren vorgenommen.

Der Abhandlung sind zwei Tabellen beigegeben, die gesondert nach den einzelnen Einbaustellen der Grundablässe und Entnahmeleitungen mit Kraftausnutzung (Kraftrohrleitungen) die hierfür in Frage kommenden Absperrorgane zusammenfassen. In den Tabellen werden weiter über die Schütze und Schieber eine Reihe von Angaben gemacht, die einen Anhalt für die Wahl der zweckmäßigen Verschlüsse bei Talsperrenneubauten geben sollen.

Schließlich möchte ich nicht versäumen, an dieser Stelle Herrn Professor Dr.-Ing. Beger für die Anregung zu der nachstehenden Abhandlung und Herrn Regierungs- und Baurat Körner für die häufigen und fördernden Auskünfte zu danken.

Beschreibung und Untersuchung der Talsperrenverschlüsse.

I. Flachschieber und Rollschütze.

a) Beschreibung der Verschlüsse.

Die Flachschieber und Rollschütze dienen ebenso wie die in den folgenden Kapiteln II bis VI behandelten Schieber und Klappen dazu, den Talsperrenabfluß in Grundablässen und Entnahmeleitungen einzuschränken oder zu unterbrechen. Bei der Schließbewegung schneiden diese beiden Absperrorgane, die von oben heruntergelassen werden, den Abfluß vor dem Mundstück der Ableitungen, also bei dem Übergang des Wassers von der Ruhe zur Bewegung ab.

Flachschieber. Die Flachschieber bestehen aus einer geraden oder gegen das Oberwasser gebogenen Platte, die auf der Rückseite mit Versteifungsrippen versehen ist (Abb. 1). Die Platte hat in der Regel eine dem Ableitungsquerschnitt angepaßte Form. Sie läuft in einem auf möglichst spielraumlose Führung angearbeiteten Rahmen. Zur Dichtung gegen den Rahmen

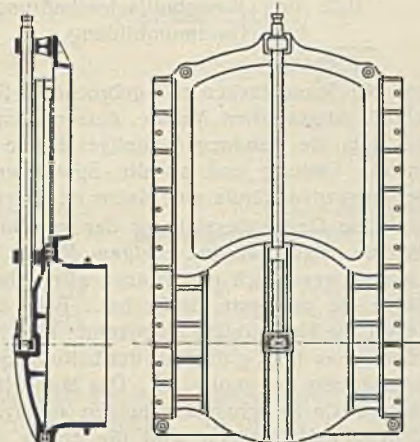


Abb. 1. Ansicht und Querschnitt eines Flachschiebers von Bopp & Reuther.

sind an den Schiebern besondere Leisten vorgesehen. Etwa im Schwerpunkte der Platte ist das aus Rundeisen bestehende Antriebsgestänge angebracht. — Aus der Form des Schiebers und dem Kreisquerschnitt der Leitung ergibt sich für den größten Teil der Schließbewegung der Absperrvorrichtung ein sichelförmiger Durchflußquerschnitt.

Der Baustoff für die Platte und den Rahmen der Flachschieber ist Gußstahl, für die Dichtungsleisten Bronze oder nichtrostender Stahl.

Der Antrieb der Flachschieber kann von Hand oder durch Elektromotor geschehen.

Rollschütze. Die Flachschieber lassen sich, da im allgemeinen keine besonderen Druckausgleichsmaßnahmen für Öffnen und Schließen der Schieber vorhanden sind, nur für kleinere Druckhöhen und Abmessungen benutzen. Denn die Antriebskräfte wachsen mit höherem Staudruck bedeutend, und es entstehen dann auch unzulässige Schwingungen bei der Bewegung der Platte, wie später noch näher ausgeführt wird. Von gewissen Grenzen ab ist daher die Verwendung von Rollschützen vorzuziehen. Bei ihnen ist an Stelle der gleitenden in der Hauptsache rollende Reibung zu überwinden. Gleitende Reibung tritt nur an den Rollenachsen, bei den Sonderkonstruktionen allerdings auch bei Öffnungsbeginn der Schütze an dem Rahmen auf. Eine Ausnahme hiervon macht das Rollschütz auf Wälzlagern, bei dem sich überhaupt keine nennenswerte gleitende Reibung einstellen kann.

Die Rollschütze bestehen aus einem Rahmen, der durch mehrere Querriegel versteift wird und mit einer Blechhaut auf der Vorderseite oder Rückseite versehen ist (Abb. 2). Die Schütze erhalten zwei und bei großen Konstruktionshöhen drei oder mehr an dem Schützkörper befestigte Rollenpaare, die auf Schienen, die in das Mauerwerk eingelassen sind, laufen. Die Rollen können je nach Lage der Dichtung von der abdichtenden Blechhaut mit umschlossen werden oder außerhalb bleiben. Die zu verschließende Öffnung erhält einen besonderen Rahmen mit erhabenen Dichtungsleisten; vor diese legen sich die Leisten des Schützes auch in der Schlußstellung mit geringem Spielraum, um die den Antrieb erleichternde Rollenwirkung nicht etwa durch Gleiten der Dichtungen aufeinander aufzuheben. Die Unterkante der Schütze, die meist mit einem eichenen Kantholz versehen ist, dichtet entweder unmittelbar gegen die gut abgeglichene Betonsohle oder gegen ein waagrecht angebrachtes C-förmiges Anschlagisen.

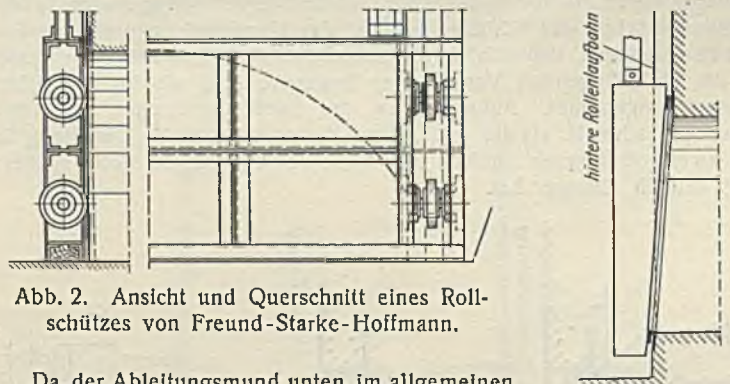


Abb. 2. Ansicht und Querschnitt eines Rollschützes von Freund-Starke-Hoffmann.

Da der Ableitungsmund unten im allgemeinen die Form eines Rechtecks, eines Kreises oder einer Ellipse hat, ergeben sich bei der Schließ- und Öffnungsbewegung des Schützes rechteckige oder segmentartige Durchflußquerschnitte.

Neben den vorstehend beschriebenen gewöhnlichen Rollschützen werden noch mehrere Sonderarten verwendet, die eine bessere Dichtung oder eine möglichst sichere Aufnahme der hydraulischen Kräfte bei Zwischenstellungen erzielen sollen. Es sind dies die Rollschütze mit keilförmigem Querschnitt (jedoch nicht mit keilförmiger Ansicht), das von der Firma Passavant hergestellte Schütz mit besonderer Rollenführung, das von der Firma Geiger hergestellte Schütz mit ebenfalls besonderer Rollenführung und schließlich das Rollschütz auf Wälzlagern.

Die Rollschütze mit keilförmigem Querschnitt unterscheiden sich von den gewöhnlichen Rollschützen dadurch, daß ihre vor der Öffnung befindliche Fläche und der in das Mauerwerk eingelassene Rahmen gegen die Bewegungsrichtung geneigt ist (Abb. 3). Dadurch pressen sich

Abb. 3. Schematischer Querschnitt eines keilförmigen Rollschützes (in teilweiser Verzerrung).

die Dichtungsleisten in der Schlußstellung fest aufeinander und bewirken einen gegen Wasserdurchtritt besseren Abschluß als bei den gewöhnlichen Rollschützen. Zur besseren Führung und Festlegung der Absperrorgane laufen die Rollen im allgemeinen in C-Eisen, gegen deren rückwärtigen Flansch sie sich in der Schlußstellung legen.

Während bei den Rollschützen mit keilförmigem Querschnitt die Rollenlaufbahn gerade durchgeführt und die Dichtungsebene schräg zur Bewegungsrichtung gestellt ist, erhält das Schütz von Passavant eine zu dieser Richtung gleichlaufende Dichtungsebene und wird durch die Neigung der Laufbahn an die Ableitungsöffnung herangeführt, wodurch ebenfalls eine gute Dichtung erzielt wird. Die Konstruktion ist, wie aus Abb. 4 hervorgeht, so durchgebildet, daß das Schütz durch den Wasserdruck und außerdem durch das Eigengewicht mittels der Rollen gegen die Dichtungsleisten der Ableitungsöffnung gepreßt wird. Die Rollen verlassen nämlich vor der Schlußstellung die mauerseitige Laufbahn und bewegen sich auf der rückwärtigen, für eine kurze Strecke nach der Mauer zu geneigten Bahn. Dieser Teil der Laufbahn ist als selbständiges Glied der Führung ausgebildet und kann den praktischen Erfordernissen entsprechend nachgestellt werden. Die Schütztafel besteht bei der Ausführung von Passavant aus einem Gußstück, ebenso das nachfolgend behandelte Schütz von Geiger und das Schütz auf Wälzlagern.

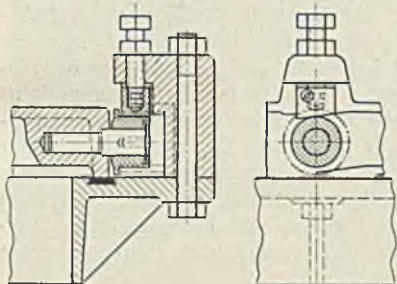


Abb. 4. Rollenführung des Schützes von Passavant.

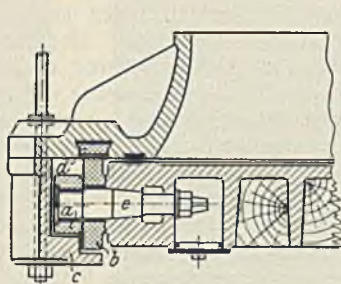


Abb. 5. Rollenführung des Schützes von Geiger.

Das Geigersche Rollschütz¹⁾ ist mit einer spielraumlosen Rollenführung versehen. Durch diese kann es in jeder beliebigen Stellung gehalten werden, ohne wesentlichen Schwingbewegungen unterworfen zu sein. Die spielraumlose Rollenführung zeigt Abb. 5. Zwei Rollenscharen *a* und *b* sind mit versetzten Achsen an Zapfen, die mit dem Schütz verbunden sind, angebracht und laufen auf den Bahnen *c* und *d*. Durch die Rollenschar *b* und die Laufbahn *d* wird die Bewegung des Schützes nach der Ableitung zu und durch die Schar *a* und die Bahn *c* die Bewegung von der Ableitung weg verhindert. Die besondere Lagerung der Rollenscharen ermöglicht ein verschiedenes Einstellen, so daß stets eine spielraumlose Führung erreicht werden kann. Zur Erzielung einer guten Dichtung sind die Laufschielen mit Vertiefungen versehen. In diese Vertiefungen treten die Rollen der Schar *b* in der Schlußstellung ein, wobei die Dichtungsflächen des Schützes fest an das Mundstück gepreßt werden. Um zu vermeiden, daß sich die Rollen bei dem Aufziehen des Verschlusses in die nächstfolgenden Vertiefungen bewegen, sind sie im ungleichen Abstand angeordnet. Außerdem ist das zweite Rollenpaar, von unten gerechnet, schmaler als das erste, damit dieses, wenn es die Vertiefung für das zweite Rollenpaar erreicht hat, nicht frei über ihr schwebt, sondern noch seitlich Auflager hat.

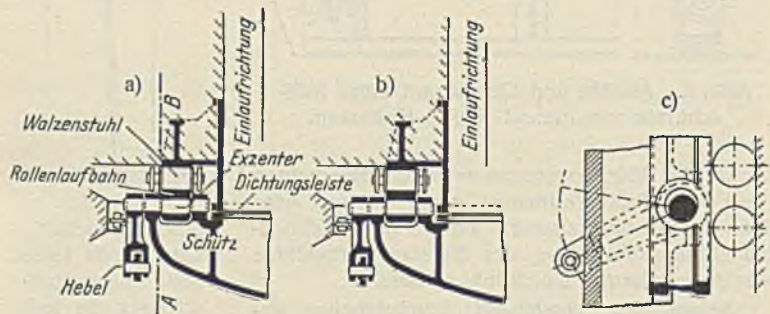


Abb. 6. Rollschütz auf Wälzlagern von Escher, Wyss & Cie.

Dem Rollschütz auf Wälzlagern (Abb. 6a bis c) liegt der Gedanke zugrunde, die Antriebskräfte bei dem Heben und Senken des Verschlusses auf das kleinste Maß zu beschränken. Daher ist die Lagerung auf Walzen gewählt, bei der nur rollende Reibung entsteht, jedoch keine Zapfenreibung, wie sie bei den übrigen Rollschützen vorhanden ist. Zur Erzielung einer reibungslosen Bewegung und zur Sicherung einer einwandfreien Dichtung des Verschlusses sind zwischen die Walzen und die Schütztafel auf Exzentern gelagerte Laufschielen eingeschaltet. Die

¹⁾ Willmann, Über Talsperrenschieber. Z. d. VdI 1923.

Exzenter werden vor der Schützbewegung durch Hebel so betätigt, daß die Laufschielen auf die Walzen fest aufgedrückt werden. Dadurch wird das Schütz so weit gegen die Einströmungsrichtung bewegt, bis zwischen den Dichtungsleisten ein gewisser Spielraum gegeben ist. In der Schlußstellung legt der auf der senkrechten Schützfläche auflastende Wasserdruck die Exzenter selbsttätig um, so daß der Schützkörper nur auf den Dichtungsleisten aufliegt und einen guten Abschluß herstellt.

Der Baustoff für die sämtlichen Rollschütze ist Fluß- oder Gußstahl, für die Dichtungsleisten Bronze oder nichtrostender Stahl.

Der Antrieb der Rollschütze erfolgt im allgemeinen von Hand oder durch Elektromotor, in seltenen Ausnahmefällen hydraulisch.

b) 1. Anordnung der Verschlüsse.

Die Flachschieber oder Rollschütze werden vor dem Mundstück der Grundablässe oder Entnahmelösungen angeordnet. Auf diese Weise liegen bei ständig gefüllten Talsperren alle Teile, also auch die Antriebsgestänge stets unter Wasser, worin sich diese Absperrvorrichtungen von allen anderen Verschlüssen grundsätzlich unterscheiden.

Die Schieber und Schütze können senkrecht oder schräg in der Neigung der Sperrmauer eingebaut werden. Dabei ist zu beachten, daß die Verschlüßfläche bei schräger Lage des Absperrorgans vergrößert wird.

b) 2. Hydraulische Verhältnisse der Verschlüsse.

Offenstellung. Die hydraulischen Verhältnisse, die sich bei Offenstellung an den Verschlüssen selbst abspielen, sind untergeordneter Bedeutung, so daß auf ihre Erörterung verzichtet werden kann. Dagegen muß auf die hydraulischen Vorgänge in den Mundstücken, deren Ausbildung im engen Zusammenhang mit der Größe der Verschlüßvorrichtungen steht, eingegangen werden. Sie gestalten sich wie nachstehend ausgeführt. Bei dem Eintritt des Wassers in den Mund entstehen Reibungswiderstände, die Druckhöhenverluste verursachen. Außerdem

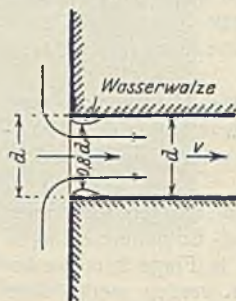


Abb. 7. Eckiges Mundstück.

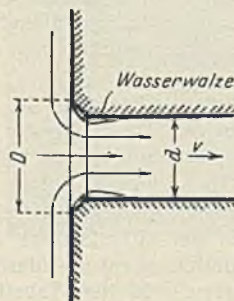


Abb. 8. Mundstück mit gebrochener Kante.

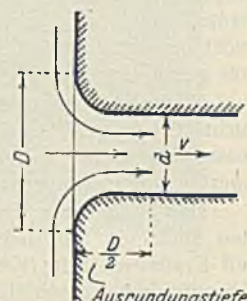


Abb. 9. Ausgerundetes Mundstück.

kommen bei eckigen Mundstücken (Abb. 7) und bei Mundstücken mit gebrochener Kante (Abb. 8) Strahleinschnürungen mit Wirbelbildungen und luftverdünnten oder luftleeren Räumen hinzu, wodurch ebenfalls Druckhöhenverluste und nachteilige Folgen für die Mundstückwandungen hervorgerufen werden. Die Druckhöhenverluste ergeben sich aus der Formel $h = \zeta \cdot v_0^2 / 2g$; darin ist v_0 die Geschwindigkeit des Abflußstrahles auf der normalen Leitungsstrecke und ζ der Verlustkoeffizient, der nach den Angaben der Literatur bei eckigen Mundstücken zu

- 0,10 für Eintrittsreibung,
- 0,32 für Querschnittseinschnürung des Strahles unter Wirbel- bzw. Hohlraumbildung
- 0,42

und bei Mundstücken mit gebrochener Kante zu 0,25 wird. Bei dem in Abb. 9 dargestellten Munde, dessen Ausrundungstiefe $D > 1,25d$ ist und bei dem die Rundung in stetiger Kurve und mit tangentialem Anschluß an die Leitung und an die Sperrwand ausgebildet ist, treten nur Reibungswiderstände auf; daher ist $\zeta = 0,10$.

Eine Gegenüberstellung der verschiedenen ζ -Werte und Verschlüßflächen zeigt, daß bei eckigem Munde zwar die Leistungsfähigkeit der Leitung wesentlich geschwächt wird, aber die zu verschließende Mundfläche die geringste Größe hat. Bei oben ausgerundeten Mundstücken liegen die Verhältnisse umgekehrt; hier wird die Verschlüßfläche praktisch mindestens 40% größer als der Leitungsquerschnitt, während die Leistungsschwächung nur gering ist. Das Mundstück mit gebrochener Kante ergibt Mittelwerte zwischen den beiden anderen Mundformen. — Nach den vorstehenden Unterlagen wird die eckige Ausbildung vom wirtschaftlichen Standpunkt aus die günstigste. Sie ist also überall da anzuwenden, wo keine Hohlraumbildungen zu erwarten sind. Innerhalb des Bereiches, für den der eckige Mund nicht mehr zugelassen werden kann, ist zunächst das Mundstück mit gebrochener Kante bis zum Erreichen seiner Kavitationsgrenzen und schließlich die ausgerundete Form zu benutzen. Die Kavitationen dürfen aus dem Grunde nicht eintreten, weil in kurzem die hiervon betroffenen Ableitungswände jedes Baustoffes zerstört werden.

In welchem Falle Hohlräumbildungen entstehen und somit die verschiedenen Mundstücke in Frage kommen, wird im folgenden untersucht werden.

Zunächst sollen die Verhältnisse in Grundablässen einer Betrachtung unterzogen werden. Die Grundablässe haben infolge der hohen Geschwindigkeit des abfließenden Wassers in dem Mundstück bei eckiger Ausbildung stets eine unter der Atmosphärenhöhe liegende Druckhöhe (p_1), wie in Abb. 10 graphisch dargestellt ist. Der Druck p_1 sinkt mit wachsender Talsperrenhöhe bis zu einem nach den besonderen Verhältnissen jeweils verschiedenen Tiefstwerte ab, um von da wieder anzusteigen. In den meisten praktischen Fällen kommt p_1 bei entsprechenden Beckenhöhen unter den absoluten Nullpunkt zu liegen, bei dem die Hohlräumbildungen theoretisch beginnen sollen. Wegen der ungleichen Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt werden jedoch Kavitationen schon oberhalb dieses Wertes beobachtet, so daß zur Sicherheit für das Eintreten der luftleeren Räume mit $p_1 = + 2$ m gerechnet werden muß. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich die Kavitationsbereiche nach der Formel²⁾

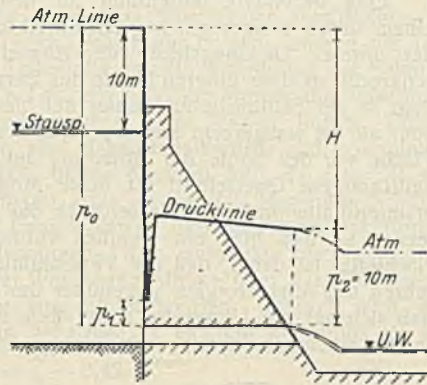


Abb. 10. Drucklinienverlauf in einem Grundablaß mit eckigem Mundstück.

$$p_0 = 10,1 + \frac{p_0 - 2}{1 + 0,10 \alpha^2} \cdot \alpha^2 (1 + \Sigma \zeta);$$

hierin bedeutet

- p_0 den absoluten Druck für die Rohrleitungsoberkante am Mundstück,
- α den Beiwert der Querschnitteinschnürung: 0,640 bei eckigem Mundstück und 0,722 bei einem Mundstück mit gebrochener Kante,
- $\Sigma \zeta$ die Verlustwerte für das Eintreten des Wasserstrahls in die Leitung, für die Reibung in der Leitung und für den Austritt des Wasserstrahls aus der Leitung.

Nach dieser Gleichung sind die Kavitationsgrenzen für verschiedene Fälle ermittelt und in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

Rauigkeitsbeiwert λ	Durchmesser $d = 2$ m			
	Eckiges Mundstück		Mundstück mit gebrochener Kante	
	Bereich der Kavitationen von der Talsperrenhöhe p_0 m	bis zur Talsperrenhöhe p_0 m	Bereich der Kavitationen von der Talsperrenhöhe p_0 m	bis zur Talsperrenhöhe p_0 m
0,015	24,0	158,0	32,4	92,0
0,020	25,1	114,1	39,6	56,6
0,025	25,7	88,3	—	—

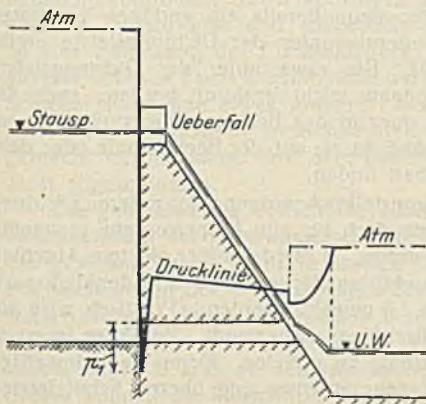


Abb. 11. Drucklinienverlauf in einem Grundablaß mit eckigem Mundstück unter einem Hochwasserüberfall.

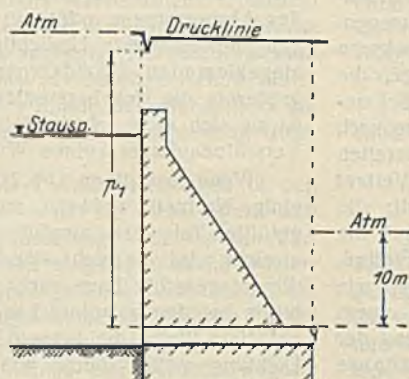


Abb. 12. Drucklinienverlauf in einer Entnahmeleitung mit eckigem Mundstück.

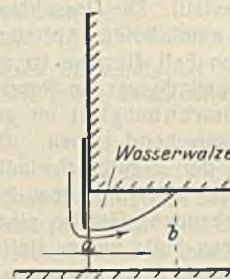


Abb. 13. Flachschieber in Zwischenstellung.

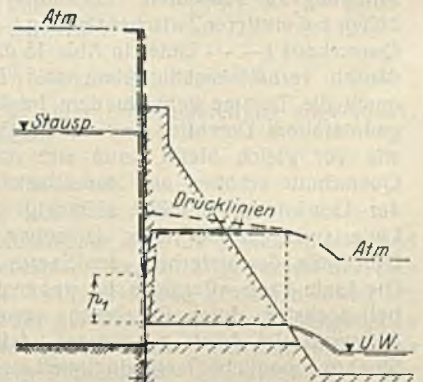


Abb. 14. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in Grundablässen.

Zu den Werten sei bemerkt, daß sie nur einen ungefähren Überblick über die Kavitationsgrenzen geben sollen. Sie treffen nur für die angenommenen Verhältnisse (d. h. für den gewählten Leitungsdurchmesser und für die in jedem Querschnitt als kreisrund anzusehende Ableitung) zu. Außerdem ist zu bedenken, daß der Koeffizient ζ für den Eintrittsverlust bei dem Mundstück mit gebrochener Kante nur ein Mittelwert sein kann, da er sich mit der Größe der Kantenbrechung ändert.

²⁾ Theuerkauf, Mundstücke der Talsperregrundablässe. DWW 1932, Seite 83.

Bei den Grundablässen ist noch ein Ausnahmefall zu beachten, für den die angegebenen Grenzen keine Gültigkeit haben. Wenn nämlich die Grundablässe unter einem Hochwasserüberfall angeordnet sind, so erhalten sie, wie an dem Modell der Talsperre Wölfelsgrund in Schlesien nachgewiesen wurde³⁾, einen erheblichen Sog. In dem untersuchten Fall stieg der Leistungskoeffizient des Grundablasses um weit mehr als 10%. Entsprechend vermindert sich die Druckhöhe (Abb. 11) und sinkt die Grenze für das Eintreten der Kavitation. Diese Grenze soll für ein eckiges Mundstück zahlenmäßig angegeben werden. Hierfür wird nicht der an dem Modell ermittelte volle Wert der Leistungssteigerung gewählt, weil er außerordentlich hoch erscheint und sich in der Praxis vermutlich nicht allgemein bestätigt; es soll vielmehr nur ein um 10% höherer Koeffizient der Rechnung zugrunde gelegt werden. Weiter sind dieselben Annahmen gemacht wie bei der vorstehend durchgeführten Ermittlung über Hohlräumbildungen in einem eckigen Mundstück. Damit ergibt sich die untere Kavitationsgrenze für das Mundstück mit einem Hochwasserüberfall bei $\lambda = 0,020$ zu $p_0 = 17,5$ m, während sie ohne Hochwasserüberfall bei $p_0 = 21,7$ m lag.

In den Entnahmeleitungen herrscht, wie aus Abb. 12 hervorgeht, in der Regel wegen der geringen Geschwindigkeit des abfließenden Wassers (1 bis 3 m/sek, in Ausnahmefällen bis 5 m/sek) ein Druck, der stets wesentlich größer als 10 m ist, meist sogar ein Vielfaches von 10 m beträgt; infolgedessen entstehen im Betriebe auch keine Kavitationen. Sie können allenfalls bei einem Rohrbruch sich einstellen. Da sie dann jedoch nur ganz kurze Zeit auftreten, braucht bei der Ausbildung des Mundstückes hierauf keine Rücksicht genommen zu werden. Daher kann in jedem Falle bei Entnahmeleitungen ein eckiges Mundstück unbedenklich angewandt werden.

Zwischenstellung. Die hydraulischen Verhältnisse in Zwischenstellungen sind für Grundablässe daraufhin zu untersuchen, ob Drosselungen der Absperrorgane zulässig sind, und außerdem, welche Vorgänge bei der Schließ- und Öffnungsbewegung der Schieber und Schütze entstehen, und für Entnahmeleitungen daraufhin, mit welchen Vorgängen bei der Bewegung der Absperrorgane aus der Offen- in die Schlußstellung zu rechnen ist. Hierfür soll zunächst auf den Abflußvorgang und sodann auf die Druckhöhen und Geschwindigkeiten an den Absperrorganen eingegangen werden.

Der Abflußvorgang gestaltet sich folgendermaßen (Abb. 13): Der Ableitungsquerschnitt wird durch den Verschuß (bei a) so eingeschnürt, daß der Abflußstrahl erst nach Durchfließen einer gewissen Strecke bei b den Querschnitt voll ausfüllt. Die Länge dieser Strecke richtet sich nach der Geschwindigkeit bei a , nach dem im Strahl vorhandenen Druck und nach dem Umfang des Abschlusses. In dem oberhalb des Strahles und hinter dem Absperrorgan liegenden toten Raum zeigen sich Wasserwalzen oder Hohlräumbildungen, auf die weiter unten näher eingegangen werden soll. — Durch die Strahleinschnürung bzw. den daraus folgenden unelastischen Stoß, der sich aus dem Aufprall des im verengten Querschnitt schneller fließenden auf langsamer fließendes Wasser ergibt, werden Druckhöhenverluste hervorgerufen, die durch die Reibung im Mundstück der Ableitung noch erhöht werden. Die Größe der Druckverluste hat

insofern Bedeutung, als Ihre Kenntnis zur Ermittlung der Geschwindigkeiten und Druckhöhen in den Ableitungen notwendig ist; die Verluste sind durch Versuche für verschiedene Ableitungsquerschnitte festgestellt und in der Literatur des öfteren wiedergegeben, z. B. in dem von Forchheimer verfaßten Werk „Hydraulik“.

Die Druckhöhen und Geschwindigkeiten nehmen in den Grundablässen und in den Entnahmeleitungen verschiedene Werte an, so daß beide

³⁾ Beyerhaus, Über Wasserabflußversuche an Talsperrenmodellen. Berlin 1914.

Ableitungsarten getrennt zu behandeln sind. In Grundablässen fällt die Drucklinie für ungedrosselten Querschnitt infolge der stets hohen Geschwindigkeiten bereits fast mit der Atmosphärenhöhe zusammen; wird das Absperrorgan teilweise geschlossen, so sinkt sie unter die Atmosphärenhöhe und bei großen Stauhöhen auch unter die Nullgrenze. Zur Veranschaulichung der Druckhöhenabnahme sind in Abb. 14 die Verhältnisse für ungedrosselten (— — Linie), für halbgedrosselten (— — Linie) und für fast ganz geschlossenen Querschnitt (— · · Linie) dargestellt. Nach dem Verlauf der Drucklinien sind in dem toten Raum hinter den Verschlüssen entsprechend den Stauhöhen und Drosselungen Wasserwalzen geringeren Druckes und gegebenenfalls Kavitationen zu erwarten. Bereits durch die Wasserwalzen, die nicht formbeständig sind, werden auf die Verschlussorgane stark wechselnde erhebliche Kräfte ausgeübt, die heftige Erschütterungen zur Folge haben. Bei Hohlraumbildungen erhöhen sich diese Beanspruchungen der Verschlüsse, und außerdem werden die Schütz- oder Schieberunterkanten, sowie die Ableitungswände kurz vor dem Querschnitt b (Abb. 13) bei längeren Drosselungen angefrassen und schließlich zerstört. In den Grundablässen der ständig gefüllten Talsperren ist daher eine Benutzung der Absperrorgane für Zwischenstellungen nicht zulässig, wohl aber für Öffnungs- und Schließbewegungen. Um die bei der Bewegung auftretenden Erschütterungen des Schiebers oder Schützes auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken, ist stets eine Konstruktion mit spielraumloser Führung zu bevorzugen. — In den Grundablässen der nicht ständig gefüllten Talsperren ist eine Verwendung der Verschlüsse für Öffnungs- und Schließbewegungen und im allgemeinen auch für Drosselungen zugänglich. Die letztere Benutzungsart darf deshalb zugelassen werden, weil Erschütterungen der Absperrorgane nur in dem Maße auftreten, als sie von den Verschlüssen aufgenommen werden können, wie die Erfahrung z. B. an den Schlesischen Hochwasserschutzbecken lehrt, und weil außerdem im allgemeinen keine Kavitationen zu erwarten sind.

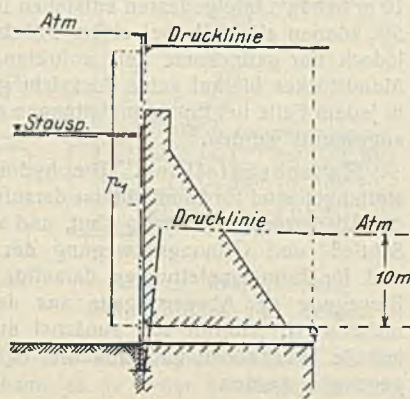


Abb. 15. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in Entnahmeleitungen.

Dies hat seinen Grund darin, daß Drosselungen nur mit größerem Öffnungsbereich des Verschlussquerschnitts in Frage kommen und daß die Talsperren geringe Stauhöhen, in der Regel weniger als 12 m aufweisen. Als Absperrorgane können hierfür alle genannten Schütz- und Schieberarten verwendet werden. Bei hohen Talsperren ist allerdings ebenfalls ein Verschluss mit möglichst spielraumloser Führung der Vorzug zu geben. — Für Entnahmeleitungen sind die Druckhöhen- und Geschwindigkeitsverhältnisse für eine Bewegung unter voller normaler Strömung bei einem Schaden an der Turbine und einem Versagen der übrigen Verschlüsse und außerdem unter einer höheren, durch Rohrbruch verursachten Strömung zu betrachten. Für volle normale Strömung sind die Druckhöhen bei mittlerer Zwischenstellung (— — Linie) und bei fast geschlossenem Querschnitt (— · · Linie) in Abb. 15 dargestellt. Die Druckhöhen nehmen danach verhältnismäßig stark ab. Da nämlich die Abflußmenge, die durch die Turbine geht, in dem fraglichen Fall dieselbe ist wie bei ungedrosseltem Durchfluß und da die Geschwindigkeit im Rohrstrang nach wie vor gleich bleibt, muß sich die Geschwindigkeit im gedrosselten Querschnitt erhöhen und der Druck entsprechend sinken. Der Verlauf der Drucklinie ist dabei abhängig von der Regelgeschwindigkeit; die Linie sinkt um so tiefer, je höher diese ist. Außerdem hat auf die Drucklinie das unterhalb der Sperre vorhandene Gefälle einen Einfluß. Die Linie kann allerdings im ungünstigsten Falle nur so tief liegen wie bei höchster, durch Rohrbruch verursachter Strömung. — Bei einem Rohrbruch ist damit zu rechnen, daß sich die größte entsprechend der Stauhöhe mögliche Geschwindigkeit einstellt. Hierbei liegen die Verhältnisse ebenso wie bei den Grundablässen. — In beiden Fällen ist also bei der Schließbewegung mit starken Erschütterungen der Verschlussvorrichtungen und Kavitationen zu rechnen. Trotzdem ist eine solche Betätigung der Absperrorgane, da sie nur äußerst selten ist, ohne weiteres zulässig.

Schlußstellung. In geschlossenem Zustande erhalten die Absperrorgane den hydrostatischen Druck auf die von den Dichtungsleisten umgrenzte Fläche; diese ist bei dem Flachschieber und den Sonderkonstruktionen der Rollschütze größer als bei dem gewöhnlichen Rollschütz, da dies, wie weiter unten näher ausgeführt wird, unten eine waagerechte Dichtung erhält. Im übrigen ist die fragliche Fläche meist größer als der Ableitungsquerschnitt; bei Ausrundung des Mundstückes sogar bis zu 250%. Hierin besteht ein wesentlicher Unterschied gegenüber fast allen sonstigen Verschlussarten, die kaum mehr als den durch die Größe des Ableitungsquerschnitts gegebenen Druck aufzunehmen haben.

Andererseits hat nur dieser Verschluss den Vorteil, daß die gesamte Ableitung bis zum Mundstück gegen das Oberwasser abgeschlossen und danach ohne besondere Vorkehrungen untersucht und ausgebessert werden kann, während bei den übrigen wassersseitigen Absperrorganen auch in der Schlußstellung der Ableitungsmund und eine kurze Leitungsstrecke dem Talsperrenwasser ausgesetzt bleibt.

b) 3. Dichtigkeit der Verschlüsse.

Eine besondere Bedeutung für den Grad der Dichtigkeit hat bei einem unten waagrecht begrenzten Ableitungsquerschnitt die Anordnung der unteren Dichtungsleiste der Absperrorgane. Diese Dichtung kann senkrecht an dem unteren Rande des Verschlusses vorgesehen werden und liegt in der Schlußstellung unter der Unterkante der Ableitung (Abb. 16) oder sie ist waagrecht angeordnet und setzt sich auf eine entsprechende Fläche vor der Sohle der Ableitung auf (Abb. 17) — für Rollschütze mit keilförmigem Querschnitt ist diese Möglichkeit nicht gegeben. Im ersteren Falle preßt der Wasserdruck das Absperrorgan fest auf die Gegenleiste, so daß hier ein ziemlich vollkommener Abschluß erzielt wird. Nachteilig ist dabei, daß die Verschlussfläche durch das tiefere Herunterführen des Absperrorgans gegenüber der anderen Lösung größer wird und daß sich auf der Unterseite hinter dem Mundstück Wasserwalzen bilden, sowie durch die damit verbundenen Querschnitteinschnürungen Druck-

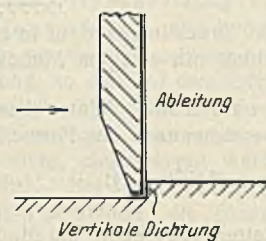


Abb. 16. Senkrechte Anordnung der unteren Dichtung.

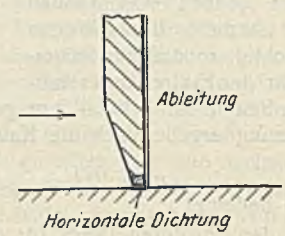


Abb. 17. Waagerechte Anordnung der unteren Dichtung.

höhenverluste entstehen. Weiter ist zu bemerken, daß kleinere Fremdkörper, die ein gleichmäßig gutes Anliegen des Absperrorgans auf den Dichtungsleisten verhindern könnten, bei dem Schließen durch den Schieber oder das Schütz beiseitegeschoben werden. Größere Fremdkörper, wie auf dem Beckengrunde treibende Hölzer, können sich unter der Unterkante des Verschlusses einklemmen, allerdings nur bei Grundablässen, da die Mundstücke von Entnahmeleitungen durch Gitter gesichert sind. In der Regel werden sich diese Grundhölzer schräg, nach dem Becken zu abfallend, einstellen und sind dann selbst bei Zugänglichkeit des Grundablasses verhältnismäßig schwer zu beseitigen. Das Einklemmen von Grundhölzern ist aber eine solche Seltenheit, daß es für die Beurteilung der beiden Dichtungsarten nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein kann. Bei der waagerechten Anordnung wird das Absperrorgan nur mittels des Gestänges auf die waagerechte Fläche vor der Ableitung aufgedrückt. Bei einem derartigen Abschluß wird häufig der Durchtritt von Spritzwasser zu beobachten sein; denn bereits ein geringes Verkanten des Absperrorgans oder ein Hindernis unter der Dichtungsleiste ergibt eine nennenswerte Undichtigkeit. Die etwa unter der Dichtungsleiste eingeklemmten Fremdkörper können leicht entfernt werden, auch die größeren, die sich herausziehen oder in das Becken zurückstoßen lassen, da sie sich nicht schräg stellen und da sie auf der Beckensohle oder dem Verschlussauflager keinen Widerhalt finden.

Wenn auch die in Abb. 16 dargestellte Anordnung der unteren Dichtung einige Nachteile aufweist, muß sie doch für alle Absperrorgane in ständig gefüllten Talsperren empfohlen werden, da hierdurch der dichtere Abschluß erreicht wird. In nicht ständig gefüllten Becken kann unbedenklich auch die waagerechte Lage nach Abb. 17 gewählt werden. Praktisch wird sie hierin bei den gewöhnlichen Rollschützen angewandt. Bei ihnen ist sogar auf diese Weise die bessere Dichtung zu erzielen. Denn die andersartige Dichtung müßte ebenso wie an den seitlichen und oberen Schützleisten zur Verhinderung der gleitenden Reibung mit Spielraum versehen sein, und es würde dann in jedem Falle auch an der Unterkante der Schütze Spritzwasser hindurchtreten.

Bei rundem Ableitungsquerschnitt ist stets die senkrechte Dichtung zu bevorzugen, da hierbei die Vorteile der waagerechten Anordnung wegfallen.

Der Grad der Dichtigkeit ist bei den einzelnen Verschlussvorrichtungen folgender: Die Flachschieber und Sonderkonstruktionen der Rollschütze, die im allgemeinen an der Unterseite senkrecht dichten und ebenfalls an den übrigen Seiten fest anschließen, weisen die gleiche gute Dichtung in der Schlußstellung auf. Man kann sie daher als tropfdicht bezeichnen. Die gewöhnlichen Rollschütze dagegen verhalten sich in geschlossenem Zustande weniger günstig, da bei ihnen stets Spritzwasser nach der Ableitung durchtritt.

c) Zusammenfassender Überblick über die Verschlüsse.

Von den im vorstehenden durchgeführten Untersuchungen sollen in diesem Abschnitt die hauptsächlichsten Ergebnisse zusammengefaßt werden, und zwar zunächst für die Anordnung und zum Teil auch für die hydraulischen Verhältnisse der Absperrorgane gemeinsam, da hierfür die Verhältnisse gleich liegen. Sodann werden die weiteren Punkte für die verschiedenen Verschlussarten getrennt behandelt.

Die Absperrorgane können, da sie vor dem Sperrbauwerk angeordnet werden, die gesamte Ableitung gegen das Oberwasser abschließen, so daß dieses mit seinem hohen Druck nicht mehr in dem Inneren der Talsperrenleitung wirksam wird. Andererseits hat die Anordnung der Schütze und Schieber den Nachteil, daß bei ständig gefülltem Becken die Verschlussvorrichtungen und ihre Gestänge immer unter Wasser liegen; Untersuchungen und Ausbesserungen sind daher umständlich und kostspielig. Bei Hochwasserschutzbecken fällt dieser Nachteil fort, da man bis auf die kurze Zeit der Beckentätigkeit stets an die frei liegenden Schütze und Schieber heran kann. Bei Grundablässen darf die Mundstücköffnung bis zum Erreichen der Kavitationsgrenze, d. h. unter den oben zugrunde gelegten Annahmen bis zu einer Wasserspiegelhöhe über der Ableitungsoberkante von $H \approx 13$ m eckig ausgebildet werden. Dadurch wird die Verschlussfläche möglichst klein gehalten; es entsteht allerdings ein erheblicher Druckhöhenverlust $h = \frac{v^2}{2g} \cdot 0,42$.

Für Höhen über $H = 13$ m ist zunächst zweckmäßigerweise ein mit gebrochener Kante versehenes Mundstück zu verwenden. Der Druckhöhenverlust ergibt sich im Mittelwert zu $h = \frac{v^2}{2g} \cdot 0,25$. Die Verschlussfläche ist hierbei größer als bei eckigem Mundstück. Für größere Talsperrenhöhen ist das Mundstück im allgemeinen auszurunden, um keine Kavitationen zu erhalten. Es ergibt sich dadurch allerdings eine sehr große Verschlussfläche; der Druckhöhenverlust ist nur $h = \frac{v^2}{2g} \cdot 0,10$.

Im einzelnen ist über die Schieber und Schütze auszuführen: Der Flachschieber weist bei Zwischenstellungen in Grundablässen hinter der Verschlussplatte je nach der Stauhöhe Walzen- und Hohlrumbildungen auf. Die Wasserwalzen haben starke Erschütterungen des Schiebers zur Folge, die bei längerer Dauer der Beanspruchungen seinen Bestand gefährden. Die Kavitationen haben dieselbe Wirkung wie die Wasserwalzen, jedoch in verstärktem Maße, und verursachen außerdem Anfressungen und Zerstörungen der Ableitungswände. Daher sind Drosselungen, die an sich dringend erwünscht sind, in ständig gefüllten Talsperren im allgemeinen nicht zulässig. Die Flachschieber dürfen hierin lediglich für Öffnungs- und Schließbewegung benutzt werden. Bei Grundablässen der nicht ständig gefüllten Becken können sie auch in Zwischenstellungen gehalten werden, da diese Sperren in der Regel nur geringe Stauhöhen haben und da keine sehr starken Drosselungen in Frage kommen, also nur Erschütterungen des Schiebers zu erwarten sind. In Entnahmeleitungen entstehen bei der Bewegung des Flachschiebers unter normaler Strömung hinter der Schieberplatte fast für den ganzen Schließweg geringfügige Unterdrücke und nur bei nahezu geschlossenem Querschnitt Kavitationen, ferner unter größter, durch Rohrbruch veranlaßter Strömung zunächst erhebliche Unterdrücke und schließlich ebenfalls Kavitationen. Trotzdem ist eine Benutzung des Flachschiebers, da sie für die genannten Zwecke äußerst selten in Frage kommt, ohne weiteres zugänglich. Bei geschlossenem Schieber steht eine etwas größere Fläche als der Mundquerschnitt unter Druck, da die Dichtung nicht unmittelbar am Rande des Mundstücks angebracht werden kann. Mit dem Flachschieber wird die Ableitung tropfdicht abgeschlossen.

Die gewöhnlichen Rollschütze rufen bei Zwischenstellungen in den Grundablässen der Hochwasserschutzbecken — nur für diese eignen sich die gewöhnlichen Rollschütze infolge ihrer Dichtung — hinter den Verschlüssen wegen der meist geringen Stauhöhen in der Hauptsache Wasserwalzen hervor. Diese verursachen Erschütterungen des Verschlusses, die bei der Seltenheit und Kürze der Drosselungen keine nachteiligen Folgen haben, wie sich z. B. an den schlesischen Talsperren gezeigt hat. Infolgedessen können die Rollschütze außer für Öffnungs- und Schließbewegung im allgemeinen auch für Drosselungen benutzt werden. Die Rollschütze erzielen keine genügende Dichtigkeit, da die Dichtungsleisten bei der Schlußstellung infolge der Eigenart der Konstruktion nicht eng aufeinandergepreßt werden.

Die Sonderkonstruktionen dürfen ebenso wie die Flachschieber bei den Grundablässen der nicht ständig gefüllten Becken in Zwischenstellungen gehalten werden; im übrigen lassen sie sich nur für Öffnungs- und Schließbewegung benutzen. Für die erstere Art der Grundablässe eignet sich besonders das Geigersche Rollschütz wegen seiner praktisch fast spielraumlosen Rollenführung. Mit allen vier Schützkonstruktionen wird in der Schlußstellung eine gute Dichtung erzielt. Hinsichtlich der Rollenführung von Passavant und Geiger ist im Abschnitt a) bereits gesagt, daß sie nachstellbar konstruiert werden. Es fragt sich, ob dies für die ständig gefüllten Becken außer bei der Montage eine besondere Bedeutung

hat. Denn ein Nachstellen bei gefüllter Talsperre ist so kostspielig, daß eine Undichtigkeit oder Vergrößerung des Spielraums der Führungen, solange sich nicht wesentliche nachteilige Folgen für den Wasserhaushalt der Sperre oder den Bestand des Schützes befürchten lassen, in Kauf genommen wird.

d) Anwendungsbereich der Verschlüsse.

Flachschieber. Die Flachschieber sind für Grundablässe und Entnahmeleitungen der Talsperren verwendbar. Für Drosselungen können sie, wenn nicht allzu starke Querschnittseinschnürung verlangt wird, in Grundablässen der nicht ständig gefüllten Becken benutzt werden.

Die größte Druckhöhe, unter der der Flachschieber noch betätigt werden kann, beträgt nach Angaben von Firmen 50 m, der größte Durchmesser für den Schieber $\approx 1,5$ m.

Gewöhnliches Rollschütz. Das gewöhnliche Rollschütz läßt sich für ständig gefüllte Talsperren nicht benutzen, da die durch das Schütz in der Schlußstellung erzielte Dichtung nicht ausreichend ist. Für die Grundablässe der Hochwasserschutzbecken ist es der meistverwendete Verschluss. In solchen Becken kann das Schütz in Zwischenstellungen bei nicht allzu starker Drosselung gehalten werden. Das Absperrorgan wird für beliebige Ableitungsquerschnitte und Stauhöhen hergestellt.

Sonderkonstruktionen der Rollschütze. Die Rollschütze mit keilförmigem Querschnitt und die Schütze von Passavant und Geiger sind als Absperrorgane für jede Öffnungsfläche und Stauhöhe in Grundablässen und Entnahmeleitungen verwendbar. In Zwischenstellungen mit mäßiger Drosselung können die Schütze bei Grundablässen in Hochwasserschutzbecken benutzt werden. Das Schütz von Geiger eignet sich besonders für höhere Drücke, da es eine spielraumlose Rollenführung hat.

Die Rollschütze auf Wälzlagern können für jede Öffnungsfläche und Stauhöhe in Entnahmeleitungen verwandt werden. In Grundablässen unterliegen sie hinsichtlich der Stauhöhe einer Begrenzung, die etwa bei 12 m Wasserdruck anzunehmen ist. Diese Beschränkung muß gemacht werden, da die Schütze bisher ohne ausreichende Sicherung gegen Schwingungen hergestellt worden sind. Wegen des Haltens des Verschlusses in Zwischenstellungen wird auf das vorstehend bei den übrigen Sonderkonstruktionen Ausgeführte verwiesen.

Bisher sind an größeren Schütz- und Schieberanlagen u. a. in Betrieb genommen:

Talsperre	Verschlussart	Abmessungen des Verschlusses in m	Druckhöhe des Verschlusses in m
Mauer	Offener Schieber	1,4 m Durchm.	48,0
Lehnmühle	Offener Schieber	1,2 m Durchm.	50,0
Buchwald (Schles.)	Gewöhnliches Rollschütz	rd. 2,9 / 1,3	12,1
Seitenberg (Schles.)	Gewöhnliches Rollschütz	rd. 2,2 / 1,1	8,7
Elektrizitätswerk Frankfurt (Main)	Rollschütz von Passavant	1,5 / 2,0	8,0
Saneamiento, Buenos Aires	Rollschütz von Passavant	0,6 m Durchm.	15,0
Guatemala	Geigersches Rollschütz	1,75 / 1,75	26,0
Quezaltenango	Geigersches Rollschütz	2,0 / 2,0	20,0
Adamello am Lago d' Arno	Rollschütz auf Wälzlagern ¹⁾	1,6 / 1,6	45,0

¹⁾ Dieses Rollschütz ist nur in einer Entnahmeleitung angeordnet; dabei ist die große Druckhöhe zulässig.

II. Rohrschieber.

a) Beschreibung des Rohrschiebers.

Die Hauptbestandteile der Rohrschieber sind die Schieberplatte und das Gehäuse (Abb. 18). Die Schieberplatte hat im allgemeinen nur eine geringe Wölbung, so daß ihre Dicke in Fließrichtung gemessen mäßig ist. Die erforderliche Versteifung wird auf der Vorderseite durch Längsrippen und auf der Rückseite durch Querrippen bewirkt. Seltener findet man eine mit stärkerer Höhlung versehene Plattenform. Ihre erhebliche Dicke ergibt sich daraus, daß die Versteifungsrippen ganz auf der Rückseite angeordnet sind. — Die Schieberplatte erhält eine Dichtungsleiste, die bei der Schlußstellung auf den besonders bewehrten Rand des rechten Rohrstückes aufgepreßt wird. Die Leiste ist mit einer ganz geringen Neigung zur Spindelachse angelegt, damit sie sich bei dem Aufziehen des Schiebers nach kurzem Weg von der Dichtung abhebt und somit keiner wesentlichen Abnutzung ausgesetzt ist. — Die Führung der Schieberplatte ist fast spielraumlos und geschieht seitlich in einer Aussparung des Gehäuses.

Das Gehäuse besteht im wesentlichen aus einer Haube, die zur Aufnahme der aufgezogenen Schieberplatte dient, und aus zwei Rohrstücken. Diese werden entweder mit demselben Durchmesser wie die anschließende Rohrleitung durchgeführt oder nach innen zusammengezogen (Abb. 19), so daß entsprechend dem kleineren Querschnitt eine Schieberplatte mit

geringeren Abmessungen erforderlich wird. Da das Gehäuse vollkommen wasserdicht abschließen muß, ist ein besonderes Augenmerk der Stelle, an der das Gestänge den Gehäusekörper durchbricht, zuzuwenden. Die Durchbruchstelle ist mit einer dicht angearbeiteten Stopfbuchse versehen. Das Gehäuse muß aus statischen Gründen Rippen erhalten, die im allgemeinen innen liegen, aber zur Verkürzung der Haube und somit der

Mauer (rd. 50:1 bis rd. 10:1) angeordnet, wobei die Leitung ebenso wie bei senkrechtem Schieber einbau innerhalb des Sperrbauwerks mit geringem gleichmäßig durchgehenden Gefälle verlegt wird. — Hinsichtlich des vollständig in der Sperrmauer auszusparenden Schachtes ist noch hervorzuheben, daß er bei großen Rohrleitungen und entsprechenden Schieberabmessungen das Mauerprofil derart schwächt, daß hierdurch eine Querschnittsverstärkung erforderlich wird.

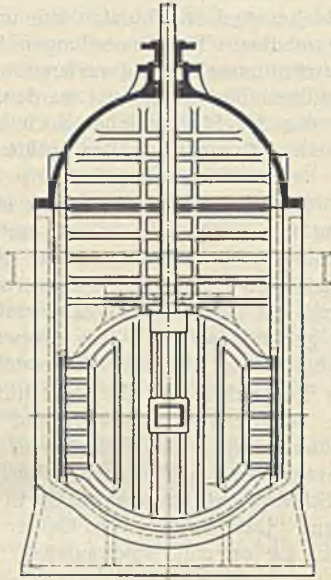


Abb. 18.

Abb. 18. Ansicht und Querschnitt eines Rohrschiebers von Bopp & Reuther.

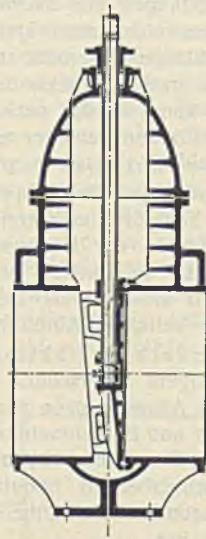


Abb. 18a.

Länge des Rohrschiebers auch außen angeordnet sein können.

Bei dem Schließen der Schieber wird die Platte von oben her in den Rohrquerschnitt heruntergelassen. Hierdurch wird der Wasserstrom in dem Rohr abgeschnitten. Der Abflußquerschnitt ist dabei für den größten Teil der Schließbewegung sichelförmig.

Als Baustoff wird bei niedrigen Druckhöhen für die Schieberplatte und das Gehäuse Gußstahl und bei Drücken über 2,5 at und lichte Weite über 0,8 m Stahlguß, für das Gestänge Flußstahl und für die Dichtungen und seitlichen Führungen nichtrostender Stahl, Bronze oder Messing verwendet.

Die Antriebsvorrichtungen der Rohrschieber sind entweder anschließend an das Gehäuse oder bei Einbau des Schiebers in den Mauerwerkskörper einer Talsperre unter Umständen auf der Mauerkrone oder auf dem vor der Mauer angeordneten Turm untergebracht und erhalten in den beiden letzteren Fällen ein entsprechend langes Gestänge. — Der Antrieb der Schieber kann von Hand oder durch Elektromotor geschehen.

b) 1. Anordnung der Rohrschieber.

Der Rohrschieber kann auf der Wasserseite einer Sperrmauer hinter dem Ableitungsmund eingebaut werden, ferner in Grundablässen an der Luftseite unmittelbar hinter einem Sperrbauwerk, wobei die Leitung entweder mit ihm abschließt oder hinter ihm ihre Fortsetzung findet. Schließlich ist es noch möglich, den Schieber in Entnahmeleitungen unmittelbar vor der Turbine vorzusehen.

Auf den zuerst genannten, wasserseitigen Einbau muß hier näher eingegangen werden, da er die Gestaltung der Mauer wesentlich beeinflusst. Denn mit Rücksicht auf die jederzeitige Zugänglichkeit der Verschlussvorrichtung muß ein Schacht an der Oberseite des Sperrbauwerks angelegt werden. Der Schacht wird durch einen im Grundriß halbringförmigen Vorbau oder durch eine vollständig in der Sperrmauer liegende Aussparung (Abb. 20) gebildet. Die dritte Möglichkeit besteht darin, daß der Schacht nur im unteren Teil in das Mauerwerk der Sperre eingebunden ist und sich nach oben zu einem frei stehenden Turm entwickelt. Im ersten Fall, d. h. bei halbringförmigem Vorbau, wird das Verschlussorgan stets, im zweiten Fall nur manchmal in der wasserseitigen Neigung der

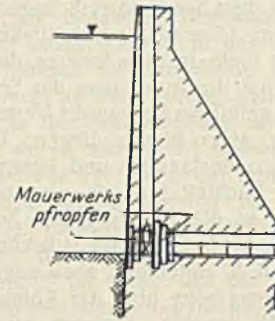


Abb. 20. Sperrmauer mit Aussparung für einen Schieber.

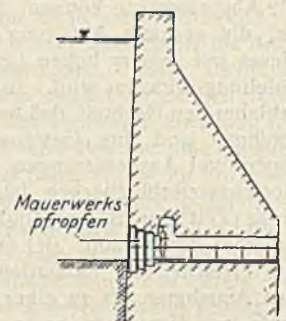


Abb. 21. Sperrmauer mit Schieberkammer.

An Stelle des Schachtes eine Schieberkammer (Abb. 21) in der Sperrmauer vorzusehen, kommt im allgemeinen nicht in Frage und soll daher weder bei diesem noch bei den folgenden Absperrorganen — Abschnitt II bis IV — berücksichtigt werden. Die Gründe für die seltene Anwendung der Kammer sind folgende¹⁾:

1. Der Schieber kann bei einem Leitungsbruch auf der unterhalb anschließenden, innerhalb der Sperrmauer befindlichen Rohrstrecke nicht betätigt werden, da der Zugang dann unter Wasser steht.

2. Bei einem Schaden an dem Schieber ist der Aus- und Einbau, sowie der Transport des Verschlusses wegen der großen Enge in der Kammer und in dem Stollen umständlicher als bei einem Schacht.

3. Gegen die Gefahr des Durchbruches der Sperrmauer neben der Rohrleitung besteht bei der Kammer einfache Sicherheit, da nur ein Mauerwerkpfropfen vorhanden ist. Bei dem Schacht dagegen ist ein Durchbruch durch zwei Pfropfen, also durch eine zweifache Sicherung, vorgebeugt (vgl. Abb. 20).

b) 2. Hydraulische Verhältnisse der Rohrschieber.

Offenstellung. Hinsichtlich der Offenstellung der Rohrschieber sind die hydraulischen Vorgänge für die beiden Fälle zu untersuchen, daß der Querschnitt der Ableitung in voller Größe durchgeführt (Abb. 18) oder daß er durch das Schieberrohr eingeschränkt wird (Abb. 19). Bei der Durchführung des normalen Ableitungsprofils entstehen in dem Schieberquerschnitt Ausbauchungen des Abflußstrahls und Wirbelbildungen, deren Umfang sich nach der Spaltöffnung und der Geschwindigkeit des abfließenden Wassers richtet. Zur Einschränkung dieser Vorgänge auf ein Mindestmaß ist die Spaltöffnung möglichst schmal zu halten. Die Folge der Ausbauchungen, die einen unelastischen Stoß hervorrufen, und der sonst unschädlichen Walzenbildungen ist ein Druckhöhenverlust, der Gegenstand einer Reihe von Versuchen gewesen ist⁵⁾. Zum Teil zeigte sich dabei, daß der Verlust so gering ist, daß er als unwesentlich vernachlässigt werden darf. Zum Teil wurden nennenswerte Verluste festgestellt, die zu $h = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$ mit $\xi = 0,1$ angegeben werden. — Da die Größe des Druckhöhenverlustes nicht einwandfrei feststeht, dürfte es sich aus Sicherheitsgründen empfehlen, mit $h = 0,1 \cdot \frac{v^2}{2g}$ zu rechnen, wenn eine genaue Leistungsfähigkeit der Ableitung gewährleistet sein muß.

Bei der Einschränkung des Ableitungsquerschnitts durch das Schieberrohr (Abb. 19) ergeben sich Einschnürungen des Abflußstrahls. Hierdurch wird ebenfalls ein Druckhöhenverlust erzeugt, dessen Größe nach dem unelastischen Stoß infolge der Einschnürungen bemessen werden kann. Er ist zu errechnen nach der Formel $h = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{F}{F_1} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v^2}{2g}$, worin F die Fläche des normalen Leitungsquerschnitts, F_1 die des eingeschränkten Schieberquerschnitts bedeutet. Sollte sich ein kleinerer Wert für ξ als 0,1 ergeben, was allerdings erst bei $d : d_1 = 1,0 : 0,87$ (d ist Durchmesser der obengenannten Fläche F , d_1 Durchmesser von F_1) möglich ist, dann muß ξ stets mit 0,1 in die Rechnung eingesetzt werden. — Die Einziehung des Querschnitts wird vorgesehen, um eine Verkleinerung der Schieberfläche zu erzielen. Ob die dadurch verursachte Verbilligung und leichtere Handhabung des Schiebers gegenüber dem Druckhöhen- und Kraftverlust günstiger ist, muß nach den jeweiligen Umständen entschieden werden.

⁴⁾ Ztrbl. d. Bauv. 1913, Verschluss bei den Grundablässen der Waldecker Talsperre.

⁵⁾ Forchheimer, Hydraulik. Leipzig und Berlin 1924.

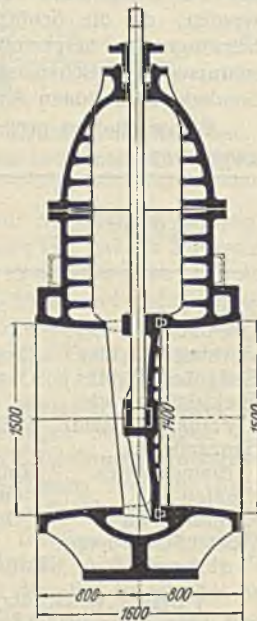


Abb. 19. Querschnitt eines Rohrschiebers von Bopp & Reuther mit kleinerer Verschlussfläche.

Zwischenstellung. Die hydraulischen Verhältnisse in Zwischenstellungen sind für Grundablässe daraufhin zu untersuchen, ob Drosselungen des Schiebers zulässig sind und außerdem welche Vorgänge bei der Schließ- und Öffnungsbewegung des Absperrorgans entstehen, und für Entnahmeleitungen daraufhin, mit welchen Vorgängen bei der Bewegung des Rohrschiebers aus der Offen- in die Schlußstellung zu rechnen ist. In den Entnahmeleitungen kommen Drosselungen nicht in Frage, weil in ihnen die Regelung der Abflusmengen durch den Leitapparat der Turbine vorgenommen wird. Welche Einbaumöglichkeiten bei der Untersuchung der hydraulischen Verhältnisse zu behandeln sind, zeigt die nachstehende Tabelle:

Grundablässe	Wasserseitiger Schiebereinbau Luftseitiger Schiebereinbau mit kurzer Rohrfortsetzung Luftseitiger Schiebereinbau ohne Rohrfortsetzung
Kurze, nur durch die Sperrmauer hindurchgeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schiebereinbau Luftseitiger Schiebereinbau
Lange, hinter der Sperrmauer weitergeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schiebereinbau Luftseitiger Schiebereinbau Schiebereinbau am Ende der Leitung

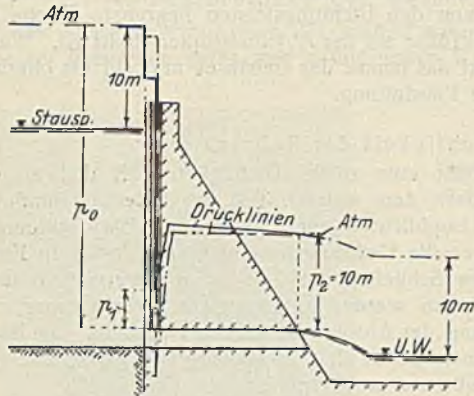


Abb. 22. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in Grundablässen und bei wasserseitigem Schiebereinbau.

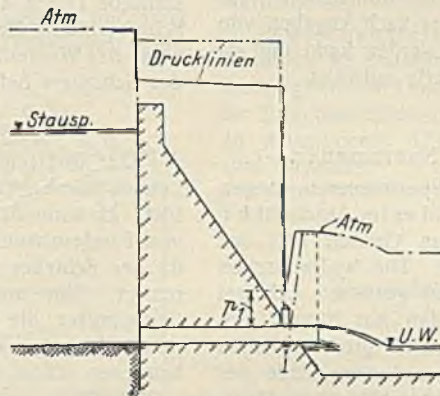


Abb. 23. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in Grundablässen und bei luftseitigem Schiebereinbau.

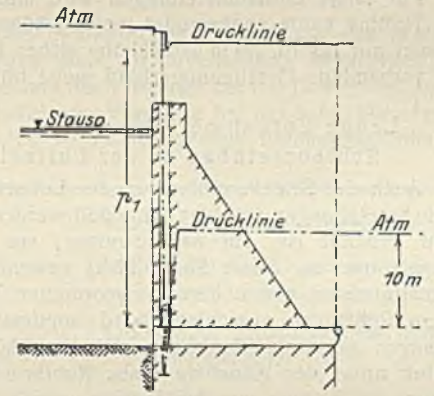


Abb. 24. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in Entnahmeleitungen und bei wasserseitigem Schiebereinbau.

Die Anordnungsarten der Schieber in Grundablässen und Entnahmeleitungen sollen nunmehr einzeln einer Betrachtung unterzogen werden.

Dabei ergeben sich die hydraulischen Verhältnisse aus den Druckhöhen und Geschwindigkeiten in den Ableitungen. Zur Feststellung der Druckhöhen ist die Kenntnis der Druckverluste bei Zwischenstellungen erforderlich. Diese Verlustwerte sind für kreisförmigen Querschnitt von Kulchling ermittelt und in der Literatur oft wiedergegeben, z. B. in „Hydraulik“ von Forchheimer.

Grundablaß. Schiebereinbau an der Wasserseite der Sperrmauer.

Bei dem Einbau eines Rohrschiebers an der Wasserseite der Sperrmauer gestalten sich die Druckhöhenverhältnisse, wie in Abb. 22 dargestellt. Dabei gilt die — Linie für halbgedrosselten und die — · — Linie für fast geschlossenen Schieberquerschnitt. Man erkennt aus der graphischen Darstellung, daß die Druckhöhen infolge der hohen Geschwindigkeiten in der Ableitung bereits bei mäßiger Drosselung unter die Atmosphärensphäre heruntersinken. Bei fast geschlossenem Schieber liegt die Drucklinie in der Regel unter der Rohrleitungsachse. Daher bilden sich in Zwischenstellungen in dem hinter dem Schieber befindlichen toten Raum Wasserwalzen niederen Druckes und schließlich Kavitationen. Durch die Walzen werden Erschütterungen der Platte hervorgerufen, die ihr auf die Dauer nicht zugemutet werden dürfen; durch die Kavitationen werden diese noch weiter verstärkt und außerdem die Ableitungswände und gegebenenfalls die Unterkante der Schieberplatten in kurzem angegriffen oder zerstört. Infolgedessen sind Drosselungen bei dem Einbau des Schiebers auf der Wasserseite ohne kavitationverhütende Einrichtungen, auf die weiter unten eingegangen werden soll, nicht zulässig. Die Benutzung des Schiebers für Öffnen und Schließen, wobei die nachteiligen Wirkungen der Zwischenstellungen nur vorübergehend auftreten können,

ist dagegen angängig. Da das wasserseitige Absperrorgan in der Regel nur Reserveverschluß ist, werden dem Schieber wenig Bewegungen zugemutet.

Grundablaß. Schiebereinbau an der Luftseite der Sperrmauer mit kurzer Rohrfortsetzung.

Wird hinter dem an der Luftseite eingebauten Schieber noch eine kurze Rohrfortsetzung vorgesehen, so liegen die Druckverhältnisse ähnlich wie bei wasserseitiger Anordnung (Abb. 23), da die Geschwindigkeiten ebenfalls entsprechende Werte aufweisen. Daher kommt eine Verwendung des Schiebers ohne kavitationverhütende Einrichtungen nur bei Öffnen oder Schließen, nicht jedoch für Zwischenstellungen in Frage. Die hohen Angriffe, die bei der häufigen Bewegung dieses als Hauptverschluß dienenden Schiebers auftreten, sind als sehr nachteilig zu bezeichnen.

Da es in den meisten Fällen erwünscht ist, den Abflusvorgang der Grundablässe in der Hand zu haben und da somit auch Drosselungen notwendig werden, ist zweckmäßigerweise der im nächsten Absatz behandelte Schiebereinbau für die Luftseite zu wählen.

Grundablaß. Schiebereinbau an der Luftseite der Sperrmauer ohne Rohrfortsetzung.

Bei diesem Einbau an der Luftseite bildet der Schieber den Schluß der Leitung. Hierbei können sich keine Wasserwalzen oder Hohlräume bilden, da entweder die Außenluft oder das unter Atmosphärendruck stehende Wasser des Sturzbettes rückfließend an die Schieberrückseite herantreten kann. Das Absperrorgan bleibt infolgedessen stets erschütterungsfrei. Die Verhältnisse liegen somit für das Öffnen und Schließen günstiger als bei den anderen Einbauarten; außerdem kann der

Schieber ohne nachteilige Folgen in Zwischenstellungen gehalten werden. Er bildet bei dieser Anordnung ein vollwertiges Hauptschlußorgan.

Kurze und lange Entnahmeleitungen.

Schiebereinbau an der Wasserseite der Sperrmauer.

Bei kurzen Entnahmeleitungen sind die beiden Fälle zu untersuchen, daß der Rohrschieber

1. gegen die volle normale Strömung bei Versagen des Leitapparates und des zweiten Absperrorgans und
2. gegen die größtmögliche Strömung, die bei einem Rohrbruch auf der Leitungsstrecke zwischen wasserseitigem und luftseitigem Schieber hervorgerufen wird,

geschlossen werden soll. Bei langen Entnahmeleitungen ist nur der letztere Fall zu behandeln. Die bei normaler Strömung auftretenden Druckhöhenverhältnisse sind in Abb. 24 für kurze Entnahmeleitungen einer Talsperre mittlerer Höhe wiedergegeben. Dabei gilt für mittlere Drosselung die stark ausgezogene Linie und für fast geschlossenen Querschnitt die — · — Linie. Die Drucklinie liegt demnach für den größten Teil des Schließens des Schiebers über der Rohrachse und sogar auch über der für die Rohrleitung maßgebenden Atmosphärensphäre und fällt nur für einen kleinen Schließbereich, der sich nach der Größe der Regelgeschwindigkeit richtet, unter die absolute Nullgrenze ab. Entsprechend sind für den größten Teil der Schließbewegung Wasserwalzen und mäßige Erschütterungen des Schiebers und nur gegen Ende der Bewegung Kavitationen zu erwarten. Daher kann der Rohrschieber ohne weiteres gegen volle normale Strömung geschlossen werden; eine Benutzung hierfür ist bei dieser Einbaustelle allerdings eine große Seltenheit. Für lange Entnahmeleitungen, d. h. für solche, bei denen das Krafthaus nicht unmittelbar anschließend an die Talsperre angeordnet ist, braucht diese Untersuchung nicht durchgeführt zu werden, da nicht anzunehmen ist, daß der Schieber an dieser Stelle zum Abschließen gegen volle Strömung benutzt wird

Denn zwischen diesen Absperrorganen und der Turbine liegen noch zwei weitere Verschlussvorrichtungen. Bei einem durch Rohrbruch veranlaßten Schließen des Schiebers können sich unter der Annahme einer Entwicklung der durch die Stauhöhe bedingten größten Geschwindigkeit die Abflußverhältnisse höchstens ebenso wie bei dem wasserseitigen Verschluss in Grundablässen gestalten. Nach den dort gemachten Ausführungen (vgl. auch Abb. 22) sind zwar erhebliche Hohlräume zu erwarten, trotzdem kann der Schieber zum Absperrn der Leitung betätigt werden. Eine Benutzung hierfür ist bei der wasserseitigen Anordnung äußerst selten.

Kurze Entnahmeleitungen.

Schiebereinbau an der Luftseite der Sperrmauer.

Lange Entnahmeleitungen.

Schiebereinbau am Ende der Leitung.

Beide Fälle haben das Gemeinsame, daß die Schieber vor der Turbine liegen und infolgedessen nur hinsichtlich eines Schließens gegen volle normale Strömung untersucht zu werden brauchen. Ein Rohrbruch kommt hier nicht in Betracht, da das zwischen Schieber und Turbine liegende Verbindungsstück mit Rücksicht auf die Überflutungsgefahr des Krafthauses gegen einen derartigen Schaden vollkommen sicher sein und eingebaut werden muß. Die hydraulischen Verhältnisse in Zwischenstellungen bei normaler Strömung lassen sich aus Abb. 24 herleiten, da die Druckhöhen und Geschwindigkeiten hier ähnliche Werte haben wie bei wasserseitigem Einbau des Absperrorgans. Daher entstehen hinter der Schieberplatte ebenfalls in der Hauptsache Wasserwalzen und nur am Schluß der Bewegung Hohlräume geringeren Umfangs, so daß einer Benutzung des Absperrorgans gegen volle Strömung nichts entgegensteht.

Für lange Entnahmeleitungen wird allerdings der Rohrschieber vor der Turbine kaum angewendet werden können, da er nach Angaben von Firmen nur bis rd. 50 m Druckhöhe sicher betätigt werden kann und da der vorhandene Gefälleunterschied meist höhere Werte aufweist.

Lange Entnahmeleitungen.

Schiebereinbau an der Luftseite der Sperrmauer.

Auch der Schieber einbau an der Luftseite der Sperrmauer in langen Entnahmeleitungen soll hier behandelt werden, obwohl er im Abschnitt b I nicht genannt ist, um nachzuweisen, aus welchem Grunde sich das Absperrorgan an dieser Stelle nicht anwenden läßt. Die hydraulischen Verhältnisse an einem derart angeordneten Verschluss gestalten sich bei einem Rohrbruch ausschlaggebend ungünstig, so daß nur hierauf eingegangen zu werden braucht. — Die Druckhöhen sind für größtmöglichen Abfluß unter der Annahme eines Rohrbruches am untersten Ende der Leitung, d. h. kurz vor der Turbine, sowie für halbgeschlossenen Quer-

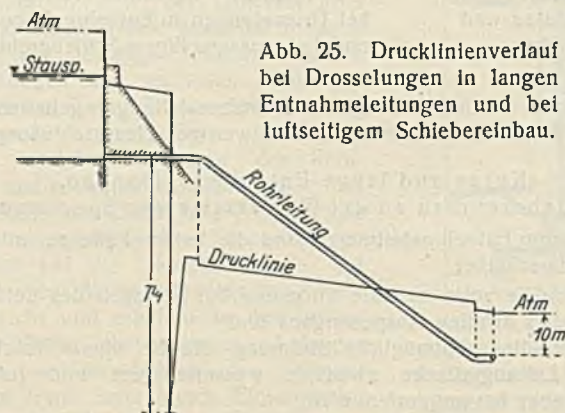


Abb. 25. Drucklinienverlauf bei Drosselungen in langen Entnahmeleitungen und bei luftseitigem Schieber einbau.

schnitt in Abb. 25 dargestellt. Sie liegen infolge der hohen Geschwindigkeiten sogar bei halber Drosselung und bei dem gewählten Beispiel einer Talsperre, bei der nur geringes Gefälle unterhalb der Sperrmauer vorgesehen ist, bereits unter der für die Rohrleitung maßgebenden Atmosphärenhöhe und auch unter der Rohrleitungsachse selbst. Sie rücken um so tiefer herunter, je größer das Gefälle hinter der Sperre im Vergleich zu der Druckhöhe im Becken ist. In allen Fällen also, in denen es sich um längere Leitungen handelt, dürfte der Druckverlauf eher ungünstiger als in Abb. 25 werden. Mithin treten erhebliche Kavitationserscheinungen hinter dem Schieber auf. Diese würden derartige Angriffe auf die Leitungswände und Erschütterungen des Schiebers zur Folge haben, daß eine Bewegung des Absperrorgans und somit ein Einbau des Rohrschiebers unzulässig ist. — Vielmehr ist für die Luftseite in längeren Entnahmeleitungen unbedingt ein Verschluss zu wählen, der einen Abfluß bis zur Erreichung der durch die Gesamtdruckhöhe verursachten Höchstgeschwindigkeit verhindert und bereits bei Überschreiten der höchsten für den Zufluß zur Turbine vorgesehenen Geschwindigkeit selbsttätig und schnell schließt (Schnellschlußorgan). Dadurch werden Schäden bei der

Schließbewegung an dem Absperrorgan selbst und an der Leitung von vornherein in der Regel ausgeschaltet.

Darüber ob Hohlräumebildungen verhütet werden können, wurden in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin Untersuchungen vorgenommen. Sie ergaben, daß bei einer Rückführung von Ableitungswasser in den toten Raum hinter dem Schieber eine wesentliche Einschränkung der Unterdrücke hervorgerufen und außerdem die Ableitungswand an den gefährlichen Stellen, an denen der Abflußstrahl auftrifft, durch Wasserschleier wirksam geschützt werden⁹⁾. Ein Vorschlag für eine solche Rückführung wird in Abb. 26 wiedergegeben. Die Rückleitung braucht allerdings nicht den hier dargestellten Umfang zu haben; sie erfüllt ihren Zweck bereits bei bedeutend kleineren Abmessungen. Die Anwendung einer Rückleitung kommt vor allem für Grundablässe wegen der hier auftretenden großen Unterdrücke in Frage, dagegen kaum für Entnahmeleitungen, da bei ihnen die Notwendigkeit einer Milderung der nur in Ausnahmefällen auftretenden Hohlräume nicht vorliegt.

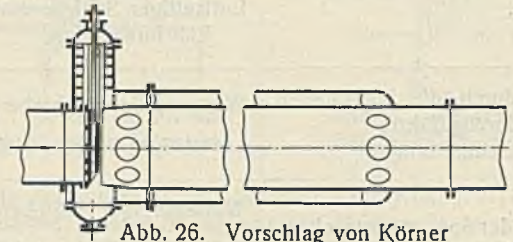


Abb. 26. Vorschlag von Körner für die Wasserrückführung hinter einem Rohrschieber.

Schlußstellung. Bei geschlossenem Schieber wirkt der hydrostatische Druck auf die von den Dichtungsleisten begrenzte Fläche der Schieberplatte, die etwas größer als der Ableitungsquerschnitt ist. Weiter wirkt der Wasserdruck auf das Innere des Gehäuses und auf die oberhalb des Schiebers befindliche Rohrleitung.

b) 3. Dichtigkeit der Rohrschieber.

Der Rohrschieber weist eine solche Dichtigkeit auf, daß an den Leisten nur Leckwasser nach dem unteren Teil der Ableitung hindurchtritt. Er kann daher als tropf dicht bezeichnet werden. Ein Einklemmen von Hindernissen zwischen die Dichtungsleisten kommt kaum in Frage, da der Schieber bei dem Schließen die Leisten gewissermaßen selbst reinigt. Nur ausnahmsweise werden umfangreiche Fremdkörper, wie Grundhölzer, die Bewegung der Absperrvorrichtung aufhalten. Sie lassen sich jedoch im allgemeinen durch den im verengten Querschnitt vorhandenen stärkeren Abflußstrom weiterspülen.

c) Zusammenfassender Überblick über den Rohrschieber.

Bei der Anordnung der Rohrschieber auf der Wasserseite ist in der Sperrmauer die Herstellung eines Schachtes, der durch einen Vorbau, eine Aussparung oder einen Turm gebildet wird, erforderlich, während für die übrigen Einbaustellen keine besonderen baulichen Maßnahmen zu treffen sind.

Der Rohrschieber erzeugt in der Offenstellung ständig einen Druckhöhenverlust, dessen Wert bei Durchführung des lichten Durchmessers auch im Absperrorgan zu etwa $0,1 \cdot \frac{v^2}{2g}$ anzunehmen ist und bei Querschnittverengung durch die Rohransätze des Schiebers dieselbe oder eine größere Höhe erreicht.

Zwischenstellungen rufen in Grundablässen bei wasser- oder bei luftseitigem Schieber einbau hinter den Verschlüssen Wasserwalzen und Hohlräume sowie Erschütterungen der Verschlussplatte und auf die Dauer Zerstörungen der Ableitungswände hervor, so daß ohne kavitationsverhütende Einrichtungen nur eine Öffnungs- und Schließbewegung des Absperrorgans, jedoch keine Drosselungen zugelassen werden können. Für letztere Einbauart, also für die luftseitige Schieberanordnung, gilt dies allerdings nur, wenn hinter dem Verschluss noch eine kurze Rohrfortsetzung vorhanden ist. Bildet der Schieber jedoch das Ende einer Ableitung, so sind auch Drosselungen zugänglich, da entweder die Außenluft oder das Wasser des Sturzbettes an die Rückseite der Verschlussplatte herankann und die vorgenannten Erscheinungen infolgedessen nicht auftreten. In den Entnahmeleitungen sind bei Zwischenstellungen ebenfalls Walzen- und Hohlräumebildungen sowie Erschütterungen zu erwarten, wenn der Rohrschieber gegen die in der Leitung herrschende normale Strömung und bei wasserseitigem Einbau auch gegen eine durch Rohrbruch veranlaßte größere Strömung geschlossen wird. Da die nachteiligen Folgen dieser Bewegung höchstens denselben Umfang annehmen können wie bei den Grundablässen, ist ihre Benutzung für das Schließen gegen jede Strömung statthaft.

⁹⁾ Körner, Neuere Formen der Grundablaß- und Umlaufverschlüsse und die Frage der Kavitation. Wkr. u. Ww. 1929.

Mit dem Rohrschieber läßt sich ein praktisch vollkommen dichter Abschluß erzielen. Nur bei Einklemmen größerer Fremdkörper werden vorübergehend Undichtigkeiten zu beobachten sein.

d) Anwendungsbereich der Rohrschieber.

Der Rohrschieber wird im allgemeinen nur in ständig gefüllten Becken eingebaut und ist hierin für Grundablässe und Entnahmeleitungen benutzbar. In Zwischenstellungen kann er in Grundablässen in der Regel nur dann gehalten werden, wenn er den Schluß einer Leitung bildet und ins Freie ergießt, abgesehen von besonderen Fällen, in denen durch Anwendung einer Rückleitung die Hohlraumbildungen auf ein unschädliches Maß herabgesetzt werden können. Hierbei sind Drosselungen des Absperrorgans für jede beliebige Einbaustelle in Grundablässen zulässig.

Die Rohrschieber lassen sich nach Angaben von Firmen mit lichten Weiten bis zu 1,5 m und für Stauhöhen bis zu 50 m verwenden.

Bisher sind in Deutschland an größeren Rohrschieberanlagen u. a. in Betrieb genommen:

Talsperre	Durchmesser des Rohrschiebers m	Betriebsdruck des Rohrschiebers m
Mauer am Bobber	1,50	50
Möhnetalsperre	1,40	46
Maltertalsperre	1,10	42
Seidenbachtalsperre, Chemnitz	1,20	50

III. Walzenschieber.

a) Beschreibung des Walzenschiebers.

Der Walzenschieber (Abb. 27) besteht aus einem Gehäuse und zwei quer zur Rohrachse gelagerten zylindrischen Walzen. Diese sind derart

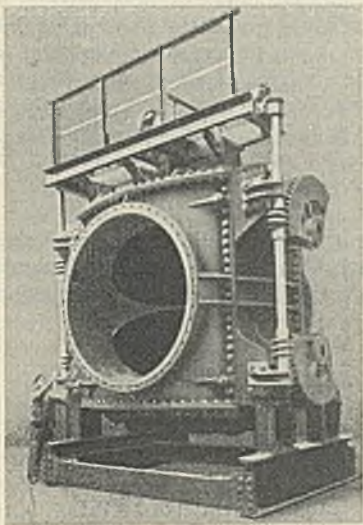


Abb. 27. Ansicht eines Walzenschiebers von Freund-Starke-Hoffmann.

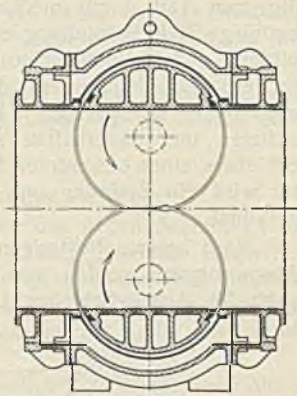


Abb. 28. Querschnitt des Walzenschiebers von Freund-Starke-Hoffmann in Offenstellung.

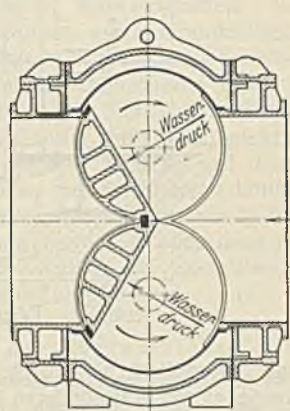


Abb. 29. Querschnitt des Walzenschiebers von Freund-Starke-Hoffmann in Schlußstellung.

ausgespart, daß sie in der Offenstellung den lichten Rohrquerschnitt freigeben, und so eingebaut, daß ein nahezu spaltfreier Übergang nach der Rohrleitung geschaffen wird (Abb. 28). In der Schlußstellung sperren die Walzen das Abflußprofil mit ihren von der Aussparung nicht betroffenen Teilen ab (Abb. 29); sie werden in dieser Stellung stemmtorartig mit ihren Dichtungen gegeneinander und gegen das Gehäuse, das mit entsprechenden Auflagerleisten versehen ist, gepreßt. Die Achsen der Walzen sind in den Seitenwänden des Gehäuses, das hierfür mit Stopfbuchsen versehen ist, gelagert. Einseitig oder beidseitig durchdringen sie die Seitenwände und tragen die Schnecken- und Zahnrad-Antriebsvorrichtungen, wobei die Walzen zwangsläufig miteinander verbunden werden. Wird der Schieber geschlossen, so bilden die in den glatten Abflußquerschnitt hineingedrehten Walzen zunächst ein trichterähnliches Rohrstück und zwängen so nach der Mitte hin die Wasserzufuhr ein. Dabei bildet sich fast für den ganzen Verlauf des Schließens zwischen den Drehkörpern eine linsenförmige Öffnung.

Der bei dem Schieber zur Verwendung kommende Baustoff ist für die Walzen und das Gehäuse Stahlguß, für die Dichtungsleisten vorzugsweise nichtrostender Stahl und für die Gegenauflagen Messing. Die Dichtungsleisten haben sämtlich eine elastische Unterlage aus Gummi, die gegen elektrolytische Einflüsse schützen soll.

Der Antrieb des Walzenschiebers geschieht durch Fallgewicht, durch Elektromotor oder hydraulisch.

b) 1. Anordnung des Walzenschiebers.

Der Walzenschieber kann in Grundablässen und Entnahmeleitungen der ständig gefüllten Talsperren auf der Wasserseite oder auf der Luftseite der Sperrmauer und in längeren Entnahmeleitungen auch am Ende der Leitung vor der Turbine eingebaut werden.

Bei wasserseitiger Anordnung muß für den Schieber vor der Sperrmauer ein Schacht von solchen Abmessungen hergestellt werden, daß gegebenenfalls das Absperrorgan herausgenommen und wieder eingebaut werden kann. — Ein Einbau des Schiebers auf der Luftseite einer Sperrmauer oder am Ende einer längeren Entnahmeleitung verlangt, abgesehen vom Fundament, keine besonderen Baumaßnahmen.

b) 2. Hydraulische Verhältnisse des Walzenschiebers.

Offenstellung. In der Offenstellung liegen die Walzeninnenseiten des Schiebers in gleicher Flucht mit den Rohrwandungen. Daher geschieht der Abfluß durch das Absperrorgan fast ebenso ungehindert wie in der Rohrleitung selbst. Störungen treten nur an den Übergangstellen von den Walzen zur Ableitung auf. Sie haben jedoch wegen der Geringfügigkeit der Spaltöffnungen keine nennenswerte Bedeutung. Die hier verursachten Druckhöhenverluste können daher praktisch vernachlässigt werden.

Zwischenstellung. Die hydraulischen Verhältnisse des Walzenschiebers in Zwischenstellungen sind für Grundablässe hinsichtlich der Zulässigkeit von Drosselungen und der Vorgänge bei der Bewegung, sowie für Entnahmeleitungen hinsichtlich der Vorgänge bei der Schließbewegung zu untersuchen. Die dabei zu berücksichtigenden Einbaumöglichkeiten sind folgende:

Grundablässe	Wasserseitiger Schiebereinbau
	Luftseitiger Schiebereinbau mit kurzer Rohrfortsetzung
	Luftseitiger Schiebereinbau ohne Rohrfortsetzung
Kurze, nur durch die Sperrmauer hindurchgeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schiebereinbau
	Luftseitiger Schiebereinbau
Lange, hinter der Sperrmauer weitergeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schiebereinbau
	Luftseitiger Schiebereinbau
	Schiebereinbau am Ende der Leitung

Die hydraulischen Verhältnisse ergeben sich aus der Betrachtung der Geschwindigkeiten und Druckhöhen vor bzw. hinter den Schiebern. Zur Feststellung der Druckhöhen ist die Kenntnis der Druckverluste bei Zwischenstellungen erforderlich. Diese Verlustwerte sind in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin ermittelt⁷⁾.

Die in Grundablässen und Entnahmeleitungen an den Walzenschiebern bei Zwischenstellungen auftretenden Geschwindigkeiten und Druckhöhen sind fast dieselben wie bei den Rohrschiebern, so daß die Walzen- und Hohlraumbildungen hinter dem Verschluss einen ähnlichen Umfang, wie in I, Abschnitt b 2 eingehend beschrieben, annehmen. Auf Einzelheiten der verschiedenen Einbauarten braucht daher kaum noch eingegangen zu werden. Über die Kavitationen ist allgemein zu bemerken, daß sie infolge der Führung des Abflußstrahls durch die beweglichen Schieberteile formbeständig sind und daß ihre Angriffstellen unterhalb des Schiebers im folgenden Rohrschuß liegen, so daß der Schieber selbst nicht in Mitleidenschaft gezogen werden kann. Dies günstige Ergebnis für das Absperrorgan wurde in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau festgestellt und an der Diemtalsperre bestätigt⁷⁾. Die Formbeständigkeit der Unterdrücke hat ein vollkommen erschütterungsfreies Verhalten des Verschlusses zur Folge. Demnach ist der Walzenschieber ein günstigeres Absperrorgan als der Rohrschieber. Er läßt sich ebenso wie dieser Schieber in Grundablässen als Verschluss benutzen und bei dem luftseitigen Einbau ohne Rohrfortsetzung in Zwischenstellungen halten; in langen oder kurzen Entnahmeleitungen ist er ebenfalls als Verschluss

⁷⁾ B. Körner, Der Walzenschieber. DWW 1929, Heft 1.

auf der Wasserseite der Sperrmauer oder unmittelbar vor der Turbine benutzbar.

Außer den erwähnten Anordnungsarten kann der Walzenschieber an der Luftseite der Sperrmauer in lange Entnahmeleitungen eingebaut werden, da seine Ausbildung als Schnellschlußorgan — ein solches ist nach den Ausführungen unter II, Abschnitt b 2, hier notwendig — möglich ist.

Schlußstellung. Bei geschlossenem Schieber wirkt der volle hydrostatische Druck auf die Walzen, wobei die gedrückte Fläche entsprechend der Anordnung der Dichtungsleisten erheblich größer als der Ableitungsquerschnitt ist. — Hinsichtlich der Belastung der Walzen ist als wenig günstig zu erwähnen, daß sie wegen der waagerechten Lagerung verschieden hohe Drücke erfahren, was allerdings nur bei geringer Stauhöhe wesentliche Bedeutung hat.

b) 3. Dichtigkeit des Walzenschiebers.

Über die Dichtigkeit des geschlossenen Schiebers wurden Untersuchungen in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin vorgenommen. Dabei wurden an einigen Stellen der Dichtungen Durchsickerungen, jedoch nirgends austretende Wasserstrahlen beobachtet, so daß der Schieber als tropfdicht zu bezeichnen ist. — Bei der Lagerung der Dichtungsleisten und der Art der Schlußstellung des Schiebers wird auch bei längerem Betrieb voraussichtlich stets die gleiche Dichtigkeit vorhanden sein.

c) Zusammenfassender Überblick für den Walzenschieber.

Der Walzenschieber ruft in der Offenstellung praktisch keinen Druckhöhenverlust hervor. Für Zwischenstellungen ist als besonders günstig sein vollkommen erschütterungsfreies Verhalten und das Auftreten nur formbeständiger Unterdruckgebiete zu erwähnen, wobei die Angriffspunkte des Abflußstrahls außerhalb des Schiebergehäuses im folgenden Rohrstoß liegen. Einem Einbau des Schiebers in Grundablässen und Entnahmeleitungen für Öffnungs- und Schließbewegung steht demnach nichts im Wege. Drosselungen sind in Grundablässen wegen der dabei auftretenden Kavitationen im allgemeinen nicht zulässig. Sie kommen nur bei einem luftseitigen Schieberbau ohne Rohrfortsetzung in Frage. — In der Schlußstellung erhält die durch die Dichtungen begrenzte Fläche, die wesentlich größer als der Ableitungsquerschnitt ist, den hydrostatischen Druck. Nachteilig könnte hierbei sein, daß die beiden Walzen wegen der waagerechten Lagerung verschieden belastet sind. — Mit dem Walzenschieber wird ein tropfdichter Abschluß erzielt.

d) Anwendungsbereich des Walzenschiebers.

Der Walzenschieber ist als Absperrorgan für Grundablässe und Entnahmeleitungen der ständig gefüllten Becken verwendbar. In Zwischenstellungen kann er in Grundablässen nur dann gehalten werden, wenn der Schieber am Schluß der Leitung angeordnet ist und ins Freie ergießt. — Ferner kann er als Schnellschlußvorrichtung zur Sicherung von Entnahmeleitungen eingebaut werden.

Der Walzenschieber wird von der Firma Freund-Starke-Hoffmann, Hirschberg, in Abstufungen von 0,25 m mit einem lichten Durchmesser von 1 bis 3 m hergestellt und läßt sich für jede beliebige Druckhöhe benutzen.

Er ist bisher nach der Schleuse Fürstenberg a. d. O. mit 2 m Durchm. und für 14 m Betriebsdruck geliefert worden.

IV. Düsenschieber.

a) Beschreibung der Düsenschieber.

Die Düsenschieber, die auch unter dem Namen Nadel-, Kegel- oder Ringschieber bekannt sind, bestehen aus drei Hauptteilen: dem feststehenden Kernteil, dem beweglichen Tauchkolben und dem Gehäuse

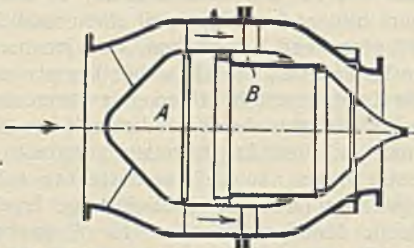


Abb. 30. Düsenschieber von Larnier-Johnson.

(Abb. 30). Der Kernteil wird durch einen hohlen Zylinder mit angesetzter kegel- oder kalottenförmiger Kappe gebildet; in ihm bewegt sich der ähnlich konstruierte Tauchkolben. Kernteil und Tauchkolben werden von einem Gehäuse, das eine Erweiterung der Rohrleitung darstellt, umschlossen. — Der Tauchkolben ist mit einem Dichtungsring versehen, mit dem er sich auf eine entsprechende Dichtungsleiste des Gehäuses setzt. Außerdem sind Tauchkolben und Kernteil gegeneinander abgedichtet. —

Werden die Schieber geschlossen, so zwingen sie den Abflußstrahl an den Rohrwandungen ein. Dabei wird der ringförmige Durchflußquerschnitt im Laufe der Schließbewegung immer mehr und mehr verkleinert.

Die weitere Durchbildung der Düsenschieber ist bei den einzelnen Firmen, die sich mit der Herstellung dieser Absperrorgane befassen, verschieden. Die Unterschiede erstrecken sich vor allem auf die Formgebung, die Antriebsart und die Schließrichtung, die mit dem Strom oder gegen ihn sein kann. Die mit der Strömung schließenden Absperrorgane sind die Schieber von Larnier-Johnson (Abb. 30) und die

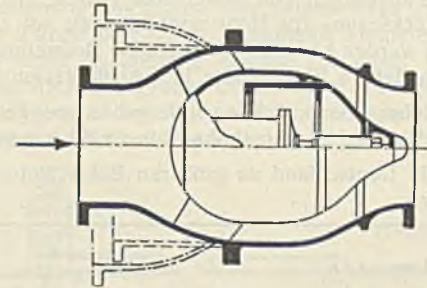


Abb. 31. Düsenschieber von Reuling.

jenigen von Reuling, Mannheim (Abb. 31). Der Johnson-Schieber wird mit Druckwasser angetrieben, und zwar derart, daß für die Schließbewegung die Kammer A mit dem in der Rohrleitung abfließenden Wasser oberhalb des Verschlusses und die Kammer B mit der Außenluft, für die Öffnungsbewegung dagegen die Kammer A mit der Außenluft und die Kammer B mit dem Rohrleitungswasser in Verbindung gebracht wird. Eine einwandfreie Dichtung des Tauchkolbens gegen den Kernteil wird mit zunehmender Größe des Verschlusses immer schwieriger. Außer diesem Schieber sind von Johnson noch eine Reihe anderer konstruiert, die zum Teil durch mechanische Hilfsantriebe ein Bewegen in jede beliebige Zwischenstellung ermöglichen und grundsätzlich dieselbe Durchbildung und Hauptantriebsart wie der eben beschriebene Verschluss aufweisen. Ein Eingehen auf diese Arten würde jedoch zu weit führen und muß daher unterbleiben. Die Firma Reuling sieht, um einen betriebssicheren und dauerhaften Antrieb zu erhalten, in dem Kernteil des Schiebers einen besonderen hydraulischen oder Druckölantrieb vor. Hierfür wird ein Zylinder und Kolben, wie in Abb. 31 dargestellt ist, angeordnet.

Nach beiden Richtungen, also auch gegen die Strömung schließende Absperrorgane werden von den Ardelt-Werken, Eberswalde, ausgeführt (Abb. 32, Ardelt-Schieber I). Der Ardelt-Schieber erhält mechanischen

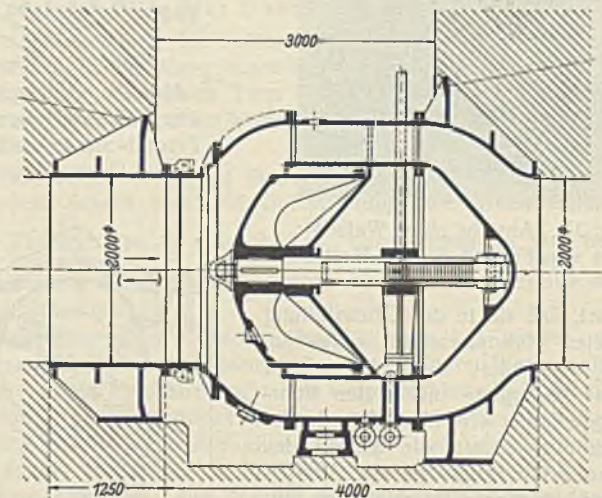


Abb. 32. Düsenschieber I der Ardelt-Werke.

und hydraulischen Antrieb. Während hinsichtlich des mechanischen Antriebes nichts Besonderes hervorzuheben ist, muß auf den hydraulischen näher eingegangen werden. Die hydraulischen Antriebsverhältnisse des Ardelt-Schiebers stehen in einem gewissen Gegensatz zu denen des Johnson-Schiebers. Bei diesem werden die Wasserdruckkräfte durch eine besondere Umgangsleitung in das Innere des Kernteils und des Tauchkolbens, die im übrigen vollständig gegen das vorüberfließende Leitungswasser abgeschlossen sind, übertragen; bei dem Ardelt-Schieber dagegen ist die Kolbenkappe mit einer oder mehreren Öffnungen versehen, so daß das Leitungswasser ungehindert Zutritt zu dem Kernteil hat. Wenn trotzdem hinter dem Tauchkolben gegenüber seiner Außenseite höhere Druckkräfte zur Wirkung kommen, die zum Teil für die Bewegung des Schiebers vollständig ausreichen, so liegt das daran, daß für die Lage der Öffnungen bestimmte hydraulische Vorgänge auf der Verschlusskappe

berücksichtigt und nutzbar gemacht werden. Die Öffnungen sind nämlich, da vor der Kappe nicht überall gleichmäßiger, sondern in einzelnen Zonen höherer, in anderen niedrigerer Wasserdruck besteht, an Punkten mit höherem Druck vorgesehen. Dieser kommt dann auf der ganzen Innenfläche des Kolbens zur Geltung. Der Tauchkolben bewegt sich bei dieser Konstruktion mit einem gewissen Spiel in dem Kernteil und dichtet gegen diesen nur in der Schlußstellung.

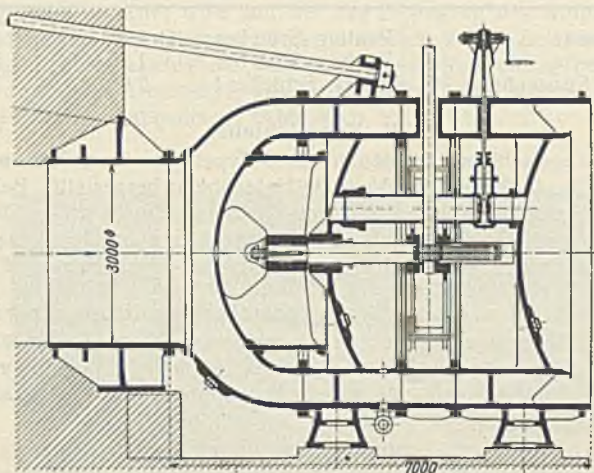


Abb. 33. Düsenschieber II der Ardelt-Werke.

Endlich ist noch ein weiterer, von den Ardelt-Werken hergestellter, gegen den Strom gerichteter Schieber (Abb. 33, Ardelt-Schieber II) zu nennen. Seine Antriebsverhältnisse und die Durchbildung des Tauchkolbens sind dieselben wie bei dem Ardelt-Schieber I. Dagegen weicht er von allen anderen Düsenschiebern durch die Gestaltung des Gehäuses ab, das sich am Ende des Verschlusses nicht mehr verengt, sondern mit dem größten Durchmesser ausläuft.

Die Düsenschieber werden zum Teil aus Gußstahl, zum Teil aus Flußstahl hergestellt mit Ausnahme der Dichtungen, für die Bronze oder nichtrostender Stahl verwendet wird.

b) 1. Anordnung der Düsenschieber.

Die Düsenschieber können mit Ausnahme des Ardelt-Schiebers II in Grundablässen und Entnahmeleitungen der ständig gefüllten Talsperren auf der Wasserseite oder auf der Luftseite der Sperrmauer und in längeren Entnahmeleitungen auch am Ende der Leitung vor der Turbine eingebaut werden. Der Ardelt-Schieber II wird dagegen nur am Ende von Grundablässen vorgesehen.

Bei wasserseitiger Anordnung muß für die Schieber in der Sperrmauer ein Schacht von solchen Abmessungen ausgespart werden, daß gegebenenfalls die Absperrorgane herausgenommen und wieder eingebaut werden können. Dadurch wird ein derart umfangreicher Mauerwerkschacht erforderlich, daß ein wasserseitiger Einbau kaum angewandt wird. Ein Einbau der Schieber auf der Luftseite einer Sperrmauer oder am Ende einer längeren Entnahmeleitung bietet keinerlei Schwierigkeiten. Bei einer Anordnung der Düsenschieber am Schlusse eines Grundablasses ergibt sich der Vorteil, daß das Sturzbett durch das aus dem Schieber ausströmende Wasser wegen seines ringförmigen Querschnitts nicht in dem Maße angegriffen wird wie durch den vollen Strahl von anderen Schieberarten. „Die Ringform des Strahlquerschnitts bedingt bei gleicher Wassermenge und Geschwindigkeit einen größeren Umfang und damit größere Luftreibung. Die starke Luftverdünnung des Strahlennern kommt hinzu, um eine frühzeitige Auflösung zu bewirken, die bis etwa zur halben Schieberöffnung beinahe zu einer Zerstäubung wird, aber auch noch bei voller Öffnung wirksam bleibt.“ (Aus der Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1929: Neuere Formen der Grundablaßverschlüsse.)

b) 2. Hydraulische Verhältnisse der Düsenschieber.

Offenstellung. Durch den Einbau eines Düsenschiebers in eine Rohrleitung wird der glatte Abfluß selbst in der Offenstellung des Absperrorgans wesentlich gestört. Denn der Abflußstrahl erfährt eine höhere Reibung und wird durch verschiedene große und zum Teil von Rippen eingeeengte Querschnitte geleitet, wobei er mehrfach gezwungen wird, seine Richtung zu ändern. Dadurch entsteht ein Druckhöhenverlust, der zu $h > \frac{v^2}{2g} \cdot 0,2$ anzunehmen sein dürfte. Der Beiwert schwankt in gewissen Grenzen, je nachdem mit wie starker Krümmung die Richtungsänderungen des Abflußstrahls folgen und wie sehr die Querschnitte voneinander abweichen. Untersuchungen sind über die Verlustunterschiede, soweit festgestellt werden konnte, nur für einen bestimmten Ardelt-Schieber I gemacht worden.

Die Düsenschieber mit Ausnahme des Ardelt-Schiebers II, auf den später eingegangen werden soll, neigen, wenn sie in eine Entnahmeleitung eingebaut sind, zur Bildung von Wasserwalzen und, wenn sie in einen Grundablaß eingebaut sind, zunächst zur Bildung von Wasserwalzen und bei größeren Stauhöhen auch von Hohlräumen. Wasserwalzen und Hohlräume treten hinter der Einschnürung des Schiebergehäuses auf den normalen Rohrquerschnitt auf, wie in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau ermittelt wurde. Die Absperrorgane bleiben trotzdem wegen der vollständig symmetrischen Kraftangriffe in jedem Fall frei von Erschütterungen. Somit ist eine Verwendung der Schieber in Entnahmeleitungen ohne weiteres angängig, jedoch nicht in Grundablässen, d. h. auf der Wasserseite der Sperrmauer. Auf der Luftseite dürfen die fraglichen Verschlüsse bei Grundablässen dagegen benutzt werden, da die Außenluft zu dem im Kavitationsbereich liegenden Schieberteil Zutritt hat und Kavitationen infolgedessen nicht entstehen können.

Der Ardelt-Schieber II ist, wie ebenfalls in der Versuchsanstalt in Berlin festgestellt wurde, in der Offenstellung frei von Kavitationen.

Zwischenstellung. Die hydraulischen Verhältnisse der Düsenschieber in Zwischenstellungen sind für Grundablässe hinsichtlich der Zulässigkeit von Drosselungen und der Vorgänge bei der Bewegung, sowie für Entnahmeleitungen hinsichtlich der Vorgänge bei der Schließbewegung zu untersuchen. Die dabei zu berücksichtigenden Einbaumöglichkeiten sind folgende:

Grundablässe	Wasserseitiger Schieber einbau Luftseitiger Schieber einbau ohne Rohrfortsetzung
Kurze, nur durch die Sperrmauer hindurchgeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schieber einbau Luftseitiger Schieber einbau
Lange, hinter der Sperrmauer weitergeführte Entnahmeleitungen	Wasserseitiger Schieber einbau Luftseitiger Schieber einbau Schieber einbau am Ende der Leitung

Die hydraulischen Verhältnisse ergeben sich aus der Betrachtung der Geschwindigkeiten und Druckhöhen hinter den Schiebern. Da diese fast dieselben wie bei den Rohrschiebern sind, treten auch hier ähnliche Walzen- und Hohlräumbildungen auf, wie in I Abschnitt b 2 eingehend beschrieben, so daß auf Einzelheiten kaum noch eingegangen zu werden braucht. Über die Wasserwalzen und Hohlräume ist im allgemeinen zu sagen, daß sie infolge der Führung des Abflußstrahls durch die Schieberwandungen bei den stromab schließenden Verschlüssen formbeständig sind. Weiter ist zu bemerken, daß die beweglichen Teile infolge ihrer symmetrischen Bauart in Zwischenstellungen erschütterungsfrei bleiben.

Hiernach darf geschlossen werden, daß die Düsenschieber bei Bewegungen oder Zwischenstellungen einen in hydraulischer Beziehung günstigeren Verschleiß abgeben als die Rohrschieber. Sie lassen sich daher mit Ausnahme des Ardelt-Schiebers II ohne weiteres für Entnahmeleitungen an jeder beliebigen Einbaustelle und mit Ausnahme des gegen Strom schließenden Ardelt-Schiebers I und des Ardelt-Schiebers II bei niedrigen Druckhöhen auch für Grundablässe an der Wasserseite benutzen. An der Luftseite der Grundablässe können die Johnson- und Reuling-Schieber, sowie der mit dem Strom schließende Ardelt-Schieber I auch in Zwischenstellungen verwendet werden. Für den Reuling-Schieber ist allerdings folgende Einschränkung zu machen: Der Schieber weist nach Ermittlungen unter Leitung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in einem kleinen Öffnungsbereich Unregelmäßigkeiten des Abflusses — periodische Lufteinbrüche in den Abflußstrahl und Auseinanderflattern desselben — auf, so daß es zweckmäßig ist, ihn nicht in diesen Öffnungslagen zu drosseln⁶⁾. Welche Grenzen dabei innezuhalten sind, muß von Fall zu Fall festgestellt werden. An einer mitteleuropäischen Talsperre mit 45 m Druckhöhe traten diese Erscheinungen bei einem zu 15% freigelegten Abflußquerschnitt besonders typisch auf. Ob der gegen den Strom kehrende Ardelt-Schieber I und der Ardelt-Schieber II an der Luftseite von Grundablässen in Zwischenstellungen verwandt werden kann, erscheint zweifelhaft, da bei starken Drosselungen hinter dem Tauchkolben Kavitationen entstehen dürften.

Schlußstellung. In der Schlußstellung erhalten die Düsenschieber den vollen hydrostatischen Druck auf eine Fläche, die von den Dichtungsringen begrenzt und nur wenig größer als der Rohrquerschnitt ist. Alle übrigen, sich aus dem hydrostatischen Druck ergebenden Beanspruchungen werden innerhalb des Schiebers bzw. der Rohrleitung ausgeglichen. In dieser Weise erfahren auch die inneren Flächen des Kernteils und des Tauchkolbens bei den Johnson- und den Ardelt-Schiebern den hydrostatischen Druck.

b) 3. Dichtigkeit der Düsenschieber.

Die Düsenschieber schließen die Rohrleitung, wie durch Versuche an neueren Schiebern festgestellt wurde, tropfdicht ab. Ob sich diese gute Dichtigkeit auch bei längerem Betriebe erhält, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Dies ist im allgemeinen wohl anzunehmen. Nur bei sandführenden Wassern ist mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Dichtungsleisten in den unteren Teilen ausgeschliffen werden, da sie sich zum Teil an besonders vorspringenden Stellen befinden. Dadurch könnte die anfängliche Dichtigkeit nachlassen. Diesem Übelstand ist jedoch leicht abzuhelfen, weil die Dichtungsleisten, die von vornherein als besondere Konstruktionsteile ausgebildet sind, ersetzt werden können.

Ein ausnahmsweises, geringfügiges Undichtwerden des Verschlusses kann allenfalls durch Einklemmen von Fremdkörpern zwischen die Dichtungsleisten hervorgerufen werden. Um ein Eindringen von umfangreichen Fremdkörpern, wie Grundhölzern, zu vermeiden, die gegebenenfalls eine Bewegung des Absperrorgans unmöglich machen und nur nach Außerbetriebsetzung der Leitung entfernt werden können, erscheint es zweckmäßig, die Zuleitung zu den Düsenschiebern auch in Grundablässen durch Gitter zu verschließen.

c) Zusammenfassender Überblick über die Düsenschieber.

Bei Düsenschiebern kommt der wasserseitige Einbau in eine Sperrmauer aus dem Grunde kaum in Frage, weil hierbei ein sehr großer Mauerwerkschacht erforderlich wird. Bei einem Einbau des Absperrorgans am Ende einer Ableitung ergibt sich der Vorteil, daß infolge des ringförmigen Austrittsquerschnitts und der dadurch bedingten größeren Luftreibung das Sturzbett nicht so große Angriffe erfährt wie bei den anderen Verschlüssen.

In der Offenstellung rufen die Düsenschieber stets einen beträchtlichen Druckhöhenverlust $h > 0,2 \cdot \frac{v^2}{2g}$ hervor. Weiter treten in dieser Stellung hinter dem Schieber bei allen Absperrorganen bis auf den Ardelt-Schieber II in Entnahmeleitungen Wasserwalzen und in Grundablässen bei wasserseitigem Einbau und bei größeren Stauhöhen auch Kavitationen auf. Bei luftseitigem Einbau in Grundablässen bleiben diese Schieber frei von den genannten Erscheinungen. Der Ardelt-Schieber II, der nur am Ende von Grundablässen eingebaut wird, ruft weder Wasserwalzen noch Hohlraumbildungen hervor. Erschütterungen aller dieser Schieber sind wegen ihrer symmetrischen Bauart in keinem Falle zu befürchten. In Zwischenstellungen entstehen ebenso wie bei der Offenstellung mit Ausnahme des luftseitigen Einbaues in Grundablässen hinter den Verschlüssen Wasserwalzen und Hohlräume, d. h. also, daß auch hinter den gegen Strom schließenden Ardelt-Schiebern Kavitationen vermutet werden, bei dem Ardelt-Schieber II allerdings erst bei stärkeren Drosselungen. Die stromab schließenden Absperrorgane werden, wenn sie am Ende eines Grundablasses angeordnet sind, ständig belüftet oder von dem Wasser des Sturzbettes bespült und haben keine Walzen- und Hohlraumbildungen aufzuweisen. Die Verschlüsse bleiben infolge ihrer symmetrischen Bauart auch hier in jedem Falle frei von Erschütterungen. Hiernach ist die Verwendung der Absperrorgane für Entnahmeleitungen ohne weiteres möglich, da in der Regel nur Wasserwalzen hinter den Schiebern auftreten. In Grundablässen können die Verschlüsse, vornehmlich der Ardelt-Schieber II, am Ende der Leitung in Offenstellung benutzt werden. Für Zwischenstellungen kommen am Ende der Grundablässe in der Hauptsache die stromab schließenden Schieber in Frage. In der Schlußstellung wird der hydrostatische Druck auf eine solche Fläche der Schieber ausgeübt, wie sie durch den Dichtungsring des Gehäuses begrenzt wird. Die Dichtigkeit der Absperrorgane ist als praktisch vollkommen zu bezeichnen.

d) Anwendungsbereich der Düsenschieber.

Die Düsenschieber: Johnson-, Reuling- und der stromab schließende Ardelt-Schieber I sind als Absperrorgane für Grundablässe und Entnahmeleitungen in ständig gefüllten Becken verwendbar mit Ausnahme des wasserseitigen Einbaues; dieser verbietet sich im allgemeinen durch die umfangreiche Verstärkung des Mauerprofils und bei Grundablässen auch wegen der Kavitationsgefahr. In Zwischenstellungen können die Schieber in Grundablässen auch nur an der Luftseite gehalten werden, wenn sie unmittelbar ins Freie ergießen. Der gegen Strom schließende Ardelt-Schieber I kann ebenfalls in Entnahmeleitungen und Grundablässe eingebaut werden. Seine Benutzung in Zwischenstellung kommt jedoch nur für geringere Querschnitteinschränkungen in Frage, da er für den Bereich stärkerer Drosselung kavitationsgefährdet sein dürfte. Der Ardelt-Schieber II ist nur für die Luftseite von Grundablässen konstruiert; da er gegen Strom schließt, gilt das hinsichtlich der Zwischenstellungen vorstehend Gesagte auch für ihn.

Die Düsenschieber können bis auf den Johnson-Schieber für jede beliebige Druckhöhe und bis zu etwa 4 m lichtigem Rohrdurchmesser hergestellt werden. Die Verwendung des Johnson-Schiebers ist hinsichtlich der Druckhöhe und des Durchmessers wegen der schwierigen Dichtung

beschränkt. Bis zu welchen Grenzwerten der Verschuß noch einwandfrei arbeitet, konnte nicht festgestellt werden.

Bisher sind in Deutschland an wesentlichen Düsenschiebern u. a. im Betriebe:

Anlage	Schieberart	Durchmesser des Düsenschiebers m	Betriebsdruck des Düsenschiebers m
Edertalsperre	Reuling-Schieber	1,35	40,0
Sösetalsperre	Reuling-Schieber	1,25	54,0
Schleuse Fürstenberg . . .	Ardelt-Schieber I	2,00	14,0

V. Kugelschieber.

Die Kugelschieber werden in zwei Typen von den Firmen Escher, Wyss & Cie. in Zürich und Voith in Heidenheim hergestellt. Beide Konstruktionen ähneln einander bis auf die Dichtung. Da die beiden Dichtungsarten gleichwertig sind und die Unterschiede hier keine Rolle spielen, soll im nachstehenden nur der Schieber von Escher-Wyss behandelt werden.

a) Beschreibung und Wirkungsweise des Kugelschiebers.

Das Absperrorgan besteht aus einem kugelförmigen Gehäuse und einem in diesem um zwei kräftige Zapfen drehbaren Rohrstück von demselben Durchmesser wie die Ableitung (Abb. 34). Die Längsachse des

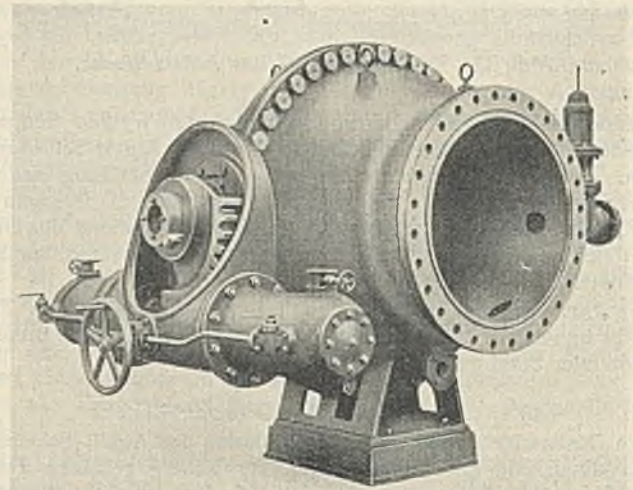


Abb. 34. Ansicht eines Kugelschiebers von Escher-Wyss.

Rohrstückes fällt in der Offenstellung (Abb. 35) mit der des anschließenden Rohrstranges zusammen, so daß ein vollständig glatter Durchfluß ohne Querschnitteinschränkung ermöglicht wird. In der Schlußstellung (Abb. 36) ist der drehbare Schiebeteil um 90° geschwenkt und eine an ihm an-

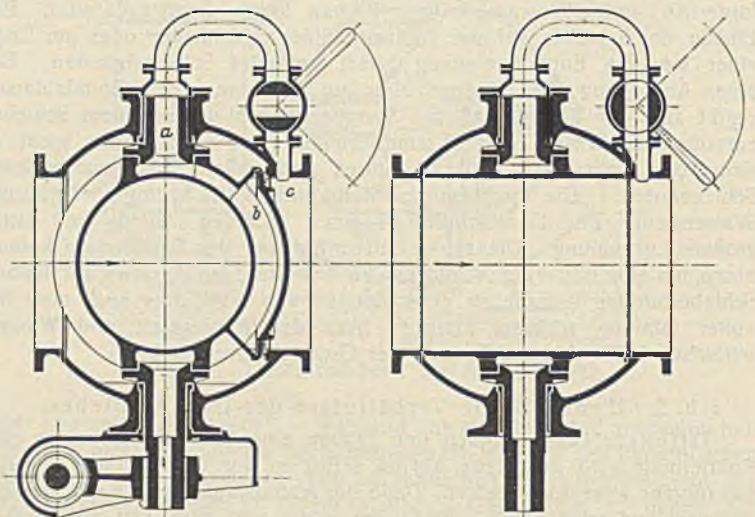


Abb. 36. Escher-Wyss-Kugelschieber in Schlußstellung.

Abb. 35. Escher-Wyss-Kugelschieber in Offenstellung.

gebrachte Kugelkalotte in den Rohrquerschnitt bewegt, wobei sie mit ihrer Dichtung durch den Wasserdruck der Leitung gegen einen Dichtungsring im Gehäuse gepreßt wird. Der eine Zapfen des Rohrstückes ist durch das Gehäuse hindurchgeführt und außerhalb desselben mit einem Zahnkranz für den Antrieb des Schiebers versehen. Der andere Zapfen enthält eine Durchbohrung (a), die mit dem Raum vor der Kugelkalotte (b)

und mit der Leitung hinter der Dichtungsplatte (*c*) eine Verbindung schafft. Sobald der Schieber in Schlußstellung gebracht ist, wird diese Verbindung durch einen Verschlüß unterbrochen; dadurch erfährt der mit *b* bezeichnete Raum, in den durch eine kleine Öffnung das Wasser des oberen Teiles der Leitung Zutritt hat, und damit auch die bewegliche Kalotte selbst den vollen hydrostatischen Druck, so daß sie sich fest auf den Dichtungsring des Gehäuses setzt. Soll der Schieber geöffnet werden, so ist die Verbindung nach dem unteren Teil der Leitung herzustellen, wodurch die Dichtungsplatte entlastet wird und bei der Bewegung des Absperrorgans keine Reibung an den Dichtungsringen entstehen kann. Bei der Schließbewegung des Kugelschiebers wird das in der Rohrleitung befindliche Wasser durch den Drehkörper oberstrom nach dieser, unterstrom nach jener Leitungswand abgedrängt (Abb. 37).⁹⁾

für Wasserbau und Schiffbau in Berlin vorgenommen worden⁷⁾. Die Untersuchungen sind bei verschiedenen Winkelstellungen des Schiebers zur Rohrachse durchgeführt und zeigen das in Abb. 37 dargestellte Ergebnis. Danach treten bei dem Abfluß in und hinter dem Schieber umfangreiche Wasserwalzen auf, die sich bei niedrigen Drücken in luftverdünnte und luftleere Räume umwandeln können. Da die Walzen- und Hohlraumbildungen nicht formbeständige Unterdruckgebiete sind, ist der Drehkörper wie auch die Antriebvorrichtungen bei Zwischenstellungen stets wechselnden hohen Beanspruchungen unterworfen, wobei die Verhältnisse mit wachsender Geschwindigkeit ungünstiger werden. Dem Kugelschieber kann eine längere Aufnahme derart hoher Kräfte mit Rücksicht auf seinen Bestand nicht zugemutet werden. Infolgedessen ist ein Halten des Verschlusses in Zwischenstellungen und eine Betätigung

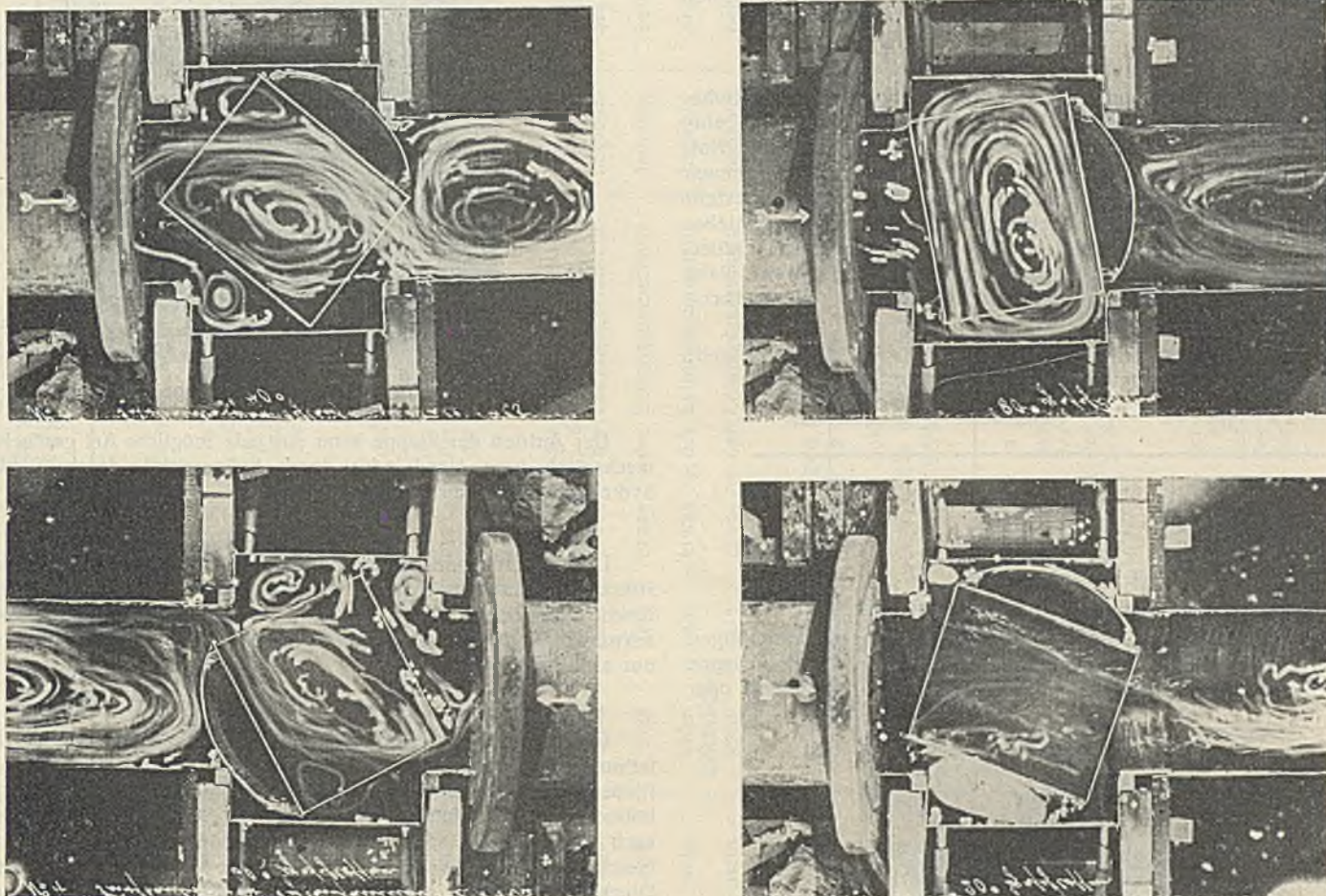


Abb. 37. Strömungsbilder in dem aufgeschnittenen Modell eines Kugelschiebers bei verschiedener Öffnung.

Der Baustoff für den Drehkörper und das Gehäuse des Verschlusses ist Gußstahl und für die Dichtungsleisten Bronze.

Der Antrieb der Kugelschieber kann von Hand, durch Elektromotor, hydraulisch oder durch Drucköl geschehen.

b) 1. Anordnung des Kugelschiebers.

Der Kugelschieber wird nur in Kraftrohrleitungen unmittelbar vor Turbinen, also in jedem Falle hinter dem Sperrbauwerk eingebaut. Für weitere Einbaustellen kann er seiner konstruktiven Eigenart wegen, wie auch den folgenden Untersuchungen zu entnehmen ist, nicht verwendet werden.

b) 2. Hydraulische Verhältnisse des Kugelschiebers.

Offenstellung. Bei offenem Schieber liegt das bewegliche Rohrstück mit den anschließenden Rohrwandungen in gleicher Flucht (Abb. 35). Da es, wie bereits gesagt, denselben Durchmesser wie die Ableitung aufweist, kann der Wasserabfluß durch das Absperrorgan in dieser Stellung ohne Querschnitteinschränkung glatt stattfinden. Nur an den beiden Übergangstellen vom Rohrstück zu der Leitung, in denen sich schmale Spalten finden, entstehen Wirbelbildungen. Ihr Umfang ist jedoch so gering, daß der dadurch verursachte Druckhöhenverlust praktisch vernachlässigt werden kann.

Zwischenstellung. Über die Abflußvorgänge des Kugelschiebers bei Zwischenstellungen sind Untersuchungen durch die Versuchsanstalt

unter der größtmöglichen Geschwindigkeit nicht zulässig. Der Schieber darf lediglich in Entnahmeleitungen unmittelbar vor der Turbine zum Schließen gegen volle normale Strömung in Notfällen benutzt werden. Daß er den dabei auftretenden Beanspruchungen gewachsen ist, wurde durch weitere Versuche an der Schweizer Kraftanlage Amsteg nachgewiesen.

Schlußstellung. In der Schlußstellung des Schiebers erfährt der Drehkörper, wenn die Kalotte noch nicht auf den Sitzring gepreßt ist, den fast vollen hydrostatischen Druck. Eine geringe Entlastung entsteht dadurch, daß ständig eine kleine Wassermenge von dem oberen nach dem unteren Teil der Leitung durch den Raum vor der Kugelkalotte und durch die Durchbohrung des einen Lagerzapfens gelangen kann. Als gedrückte Fläche des Drehkörpers kommt nur eine solche von der Größe des Leitungsquerschnitts in Frage. Bei angepreßter Kalotte steht diese unter dem vollen hydrostatischen Druck, während der Drehkörper entlastet ist. Die gedrückte Fläche ist entsprechend dem Sitz der Dichtungen etwas größer als der Rohrquerschnitt.

b) 3. Dichtigkeit des Kugelschiebers.

Die Dichtigkeit der geschlossenen Kugelschieber ist, wie bei einigen seit mehreren Jahren mit diesen Absperrorganen arbeitenden Betrieben, u. a. im Badenwerk Karlsruhe, in Erfahrung gebracht wurde, gut und stets gleichbleibend. Es tritt im allgemeinen an den Abschlußstellen nur Leckwasser aus; in sehr seltenen Fällen sind allerdings auch kleinere Wasserstrahlen beobachtet worden, was darauf zurückzuführen ist, daß sich Fremdkörper zwischen den Dichtungsflächen befanden. Hiergegen

⁹⁾ B. Körner, Der Walzenschieber. DWW 1929, Heft 1.

bietet der Kugelschieber jedoch durch seine Konstruktion von allen Verschlößen mit die größte Sicherheit.

c) Zusammenfassender Überblick für den Kugelschieber.

Der Kugelschieber weist in der Offenstellung und in der Schlußstellung günstige Verhältnisse auf; denn im offenen Zustande entsteht durch den Schieber ein so geringer Druckhöhenverlust, daß er praktisch vernachlässigt werden darf, und im geschlossenen Zustande erhält nur die Kugelkalotte den vollen hydrostatischen Druck, während der übrige Drehkörper entlastet ist. In Zwischenstellungen gestalten sich die Abflußverhältnisse in dem Absperrorgan derart ungünstig, daß außerordentlich hohe Beanspruchungen auftreten. Infolgedessen ist der Schieber nur in Entnahmeleitungen vor Turbinen verwendbar und darf hier nur in äußersten Notfällen unter der normalen Strömung geschlossen werden. — Mit dem Kugelschieber läßt sich im allgemeinen ein praktisch vollständig dichter Abschluß erzielen.

d) Anwendungsbereich des Kugelschiebers.

Die Kugelschieber eignen sich als Absperrorgane für Kraftrohrleitungen von Talsperren, in denen sie unmittelbar vor Turbinen eingebaut werden. Sie dürfen ihrer baulichen Eigenart wegen nur in Notfällen gegen die Strömung geschlossen werden. Die Schieber können mit beliebig großen Abmessungen und für jede Druckhöhe hergestellt werden. Bisher beträgt der höchste Betriebsdruck, unter dem ein Schieber von mittleren Abmessungen arbeitet, rd. 800 m (von der Firma Escher-Wyss nach Mailand Maen-Cignano geliefert); die größte Lichtweite weist ein Kugelschieber mit 2,3 m auf (von Escher-Wyss an das Badische Schwarzenbachwerk geliefert).

Weiter sind in Deutschland an wesentlichen Anlagen u. a. in Betrieb:

Talsperre	Durchmesser des Kugelschiebers m	Betriebsdruck des Kugelschiebers m
Herdecke (Essen) . . .	1,75	168
Schwarzenbachwerk . . .	1,20	360
Schwarzenbachwerk . . .	1,90	52

VI. Drosselklappe.

a) Beschreibung der Drosselklappe.

Die Drosselklappe besteht aus einer elliptischen, nahezu kreisförmigen Scheibe, in die eine Achse unverschieblich eingelassen ist. Die Klappe wird von einem kurzen Rohrstück umgeben, das von der waagrecht oder

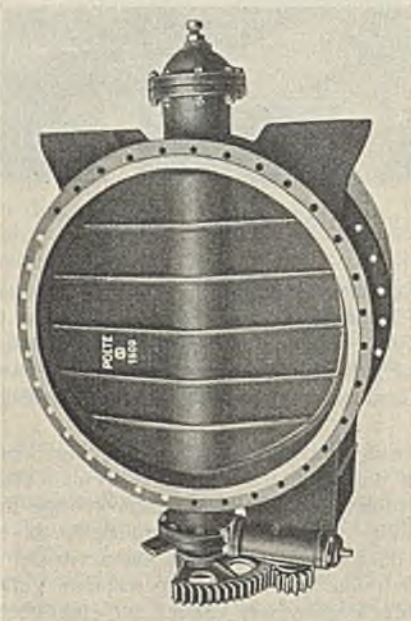


Abb. 38. Ansicht einer Drosselklappe von Polte.

senkrecht gelagerten Achse durchbrochen wird und an den beiden Durchbruchstellen zur Erzielung ausreichender Dichtigkeit mit Stopfbuchsen versehen ist. Das eine Achsende ragt aus dem Rohrstück heraus und trägt die Antriebsvorrichtungen. — Die Drosselklappe wird durch die Achse in zwei ungleiche Flächen geteilt, von denen die größere nach dem Oberwasser zu liegt, damit die Klappe in der Schlußstellung durch den Überdruck fest an die Rohrwandung gepreßt wird. — Bei der Schließbewegung der Drosselklappe wird die Wasserzufuhr durch den Drehkörper oberstrom nach dieser, unterstrom nach jener Wand der Rohrleitung abgedrängt. Dabei ergeben sich zwei bei dem Schließen allmählich

schmäler werdende sichelförmige Querschnitte (in der senkrechten Projektion gesehen).

Die Klappe wird im allgemeinen in einem Stück aus Gußstahl, entweder aus einer Scheibe mit Verstärkungsrippen (Abb. 38) oder aus einem linsenförmigen Hohlkörper mit Versteifungsrippen (Abb. 39) hergestellt. Zur besseren Dichtung kann sie mit einem besonderen Ring aus Bronze versehen sein. Aus demselben Baustoff wird häufig in dem Rohrstück ein Futter für den Anschlag der Klappe vorgesehen.

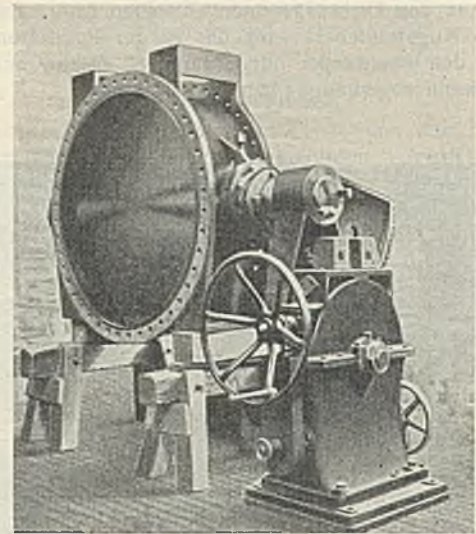


Abb. 39. Ansicht einer Drosselklappe von Voith.

Der Antrieb der Klappe kann auf jede mögliche Art geschehen, d. h. mechanisch (von Hand oder durch Fallgewicht), durch Elektromotor, hydraulisch oder durch Drucköl.

b) 1. Anordnung der Drosselklappe.

Die Drosselklappe wird in Entnahmeleitungen am Anfang einer Rohrstrecke zur Sicherung gegen Überflutungen und Wasserverluste bei Rohrbruch angeordnet, wobei sie nach Überschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit des Abflußstrahls in Tätigkeit tritt. Die Klappe gilt also nur als Reserveverschluß.

b) 2. Hydraulische Verhältnisse der Drosselklappe.

Offenstellung. Bei offener Drosselklappe ist das in der Rohrleitung sonst glatt abfließende Wasser gezwungen, die Scheibe zu umfließen. Dadurch entstehen infolge der Querschniteinschränkung Druckhöhenverluste und infolge der Umlenkung des Abflußstrahls hinter bzw. auch neben der Klappe Wasserwalzen, deren Umfang sich nach der Geschwindigkeit und der Form der Scheibe richtet. Die Größe des Druckhöhenverlustes ist ferner von dem Rohrdurchmesser (d) abhängig und wird mit zunehmendem d kleiner, da die Stärke der Klappe nicht in demselben Verhältnis wie d wächst. Die Angaben der Verlustwerte in der Literatur beziehen sich auf Leitungen von ganz geringen Abmessungen, so daß sie für Talsperrenrohre nicht in Frage kommen. Für den vorliegenden Fall sind sie, soweit festgestellt werden konnte, nur von der Firma Voith-Heidenheim ermittelt worden und weisen eine Größe $h = \frac{v^2}{2g} \cdot \xi$ mit $\xi = 0,26$ bei dem meist vorhandenen Verhältnis vom Durchmesser zur Plattendicke = rd. 0,2 auf. — Die durch die Umlenkung des Abflußstrahls hervorgerufenen Walzenbildungen bleiben selbst bei den weniger günstigen Klappenformen in mäßigen Grenzen; sie rufen bei der symmetrischen Gestaltung der Klappe keine Erschütterungen hervor, wie durch Betriebsleitungen verschiedener Kraftwerke bestätigt wird.



Abb. 40. Querschnitt durch eine Drosselklappe mit außen liegenden Versteifungsrippen.

Hinsichtlich der Form der Klappe sind, wie bereits in Abschnitt a) erwähnt wurde, zwei verschiedene Typen zu unterscheiden. Typ I weist eine massive Scheibe auf, die gegen die Achse durch Rippen versteift ist (Abb. 40). Typ II ist ein linsenförmiger Hohlkörper, der mit Verstärkungsrippen versehen ist (Abb. 41). An der ersten Klappenart ist in hydraulischer Beziehung zu bemängeln, daß sich hinter der Achse infolge der

Tabelle I. Verschlussvorrichtungen für Grundablässe von ständig gefüllten Talsperren.

Verschlussvorrichtung	Offenstellung		Zwischenstellung		Schlußstellung Größe der gedrückten Verschlußfläche	Anwendungsmöglichkeit bis		Abmessungen bezogen auf den Rohrdurchmesser	
	Druckhöhen- verlustbewert	Ob Walzen- oder Hohlraum- bildungen	Ob Walzen- oder Hohl- raumbildungen	Ob Er- schütten- rungen des Ver- schlusses		Druckhöhe m	Ableitungsdurch- messer m	In Längsrichtung der Leitung	Quer zur Leitung
Verschlussvorrichtung									
a) Wasserseitiger Verschluss									
Reibungsschieber mit ausgerundetem Mundstück	0	nein	ja	ja	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	(≈ 1,5 Mundstückdurchm.)	1,0 bis 1,2	1,5
Reibungsschieber mit eckigem Mundstück	0,32	ja	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5	1,35	1,95
Rollschütze (Sonderkonstr.) mit ausgerundetem Mundstück	0 bis 0,08	teilweise ja	ja	ja	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Rollschütze (Sonderkonstr.) mit eckigem Mundstück	0,32 bis 0,40	ja	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Rohrschieber	≈ 0,1	nein	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5		
Walzenschieber	0	nein	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
b) Luftseitiger Verschluss mit kurzer Rohrfortsetzung									
Rohrschieber	≈ 0,1	nein	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5	1,0 bis 1,2	1,5
Walzenschieber	0	nein	ja	nein	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	1,35	1,95
Düsen- schieber { Johnson-Schieber	> 0,2	ja	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
{ Reuling- und Ardelt-Schieber I	> 0,2	ja	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
{ Ardelt-Schieber II	> 0,2	nein	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	2,0 bis 2,8	1,65 bis 2,0
c) Luftseitiger, unmittelbar ins Freie ergießender Verschluss									
Rohrschieber	≈ 0,1	nein	nein	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	weit > 50	≈ 1,5		
Walzenschieber	0	nein	nein	nein	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Johnson-Schieber	> 0,2	nein	nein	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Reuling- und mit dem Strom schließender Ardelt-Schieber I	> 0,2	nein	nein	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Gegen den Strom schließender Ardelt- Schieber I	> 0,2	nein	nein	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Ardelt-Schieber II	> 0,2	nein	wahr- scheinlich wahr- scheinlich	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	wie unter b)	

Tabelle II. Verschlussvorrichtungen für Entnahmeleitungen mit Krafftausnutzung.

Verschlussvorrichtung	Offenstellung		Zwischenstellung		Schlußstellung Größe der gedrückten Verschlußfläche	Anwendungsmöglichkeit bis		Abmessungen bezogen auf den Rohrdurchmesser	
	Druckhöhen- verlustbewert	Ob Walzen- bildungen	Ob Walzen- oder Hohl- raumbildungen	Ob Er- schütten- rungen des Ver- schlusses		Druckhöhe m	Ableitungsdurch- messer m	In Längsrichtung der Leitung	Quer zur Leitung
Verschlussvorrichtung									
Verschlussvorrichtung									
a) Wasserseitiger Verschluss									
Reibungsschieber mit eckigem Mundstück	0,32	ja	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5	1,0 bis 1,2	1,5
Rollschütze (Sonderkonstr.) mit eckigem Mundstück	0,32	ja	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	1,35	1,95
Rohrschieber	≈ 0,1	nein	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5		
Walzenschieber	0	nein	ja	nein	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
b) Luftseitiger Verschluss mit anschließender eingebauter Turbine									
Rohrschieber	≈ 0,1	nein	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	≈ 50,0	≈ 1,5	1,0 bis 1,2	1,5
Walzenschieber	0	nein	ja	nein	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	1,35	1,95
Düsen- schieber { Johnson-Schieber	> 0,2	ja	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
{ Reuling- und Ardelt-Schieber I	> 0,2	ja	ja	nein	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig		
Kugelschieber von Voith und Escher-Wyss	0	nein	ja	ja	etwas > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	2,0 bis 2,8	1,65 bis 2,0
c) Luftseitiger Verschluss mit anschließender längerer Rohrleitung (selbsttätiges Schnell- schlußorgan)									
Drosselklappe	0,26	nur wenig	ja	ja	= Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	0,35 bis 0,65	1,0
Walzenschieber	0	nein	ja	nein	wesentlich > der Leitungsquerschnitt	beliebig	beliebig	1,35	1,95

plötzlichen Querschnittabnahme Wasserwalzen bilden und Druckhöhenverluste verursacht werden, die sich bei sanfterer Linienführung vor und hinter der Achse einschränken lassen. Bei der anderen Form ist hierauf Rücksicht genommen, soweit es an den Seiten der Scheibe erforderlich ist. Im mittleren Teil wird die Achse ohne Verstärkung des Hohlkörpers

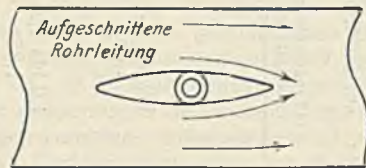


Abb. 41. Querschnitt durch eine als Hohlkörper ausgebildete Drosselklappe.

in der Scheibe aufgenommen, so daß hier eine glatte Linienführung ohnehin besteht. Allerdings erhalten durch die Gestaltung der Klappe nach Abb. 41 die beiden Teile des Abflußstrahls eine solche Richtung, daß sie hinter der Scheibe zum Teil gegeneinander fließen und infolge der dabei verursachten Reibung nennenswerte Druckhöhenverluste hervorrufen (s. auch die Reibungsverluste innerhalb eines Strahles, nachgewiesen in dem Aufsatz: „Herleitung eines Berechnungsverfahrens für den Abfluß

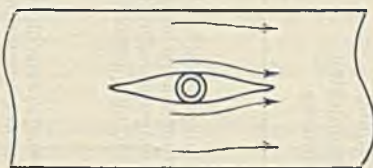


Abb. 42. Vorschlag zur Querschnittausbildung einer Drosselklappe.

an Wehren“, Bautechn. 1929, Heft 37 u. 40). Die Druckverluste lassen sich in gewissem Maße durch eine Linienführung, wie sie gemäß Abb. 42 vorgeschlagen wird, vermindern.

Zwischenstellung. Bei Zwischenstellungen bilden sich hinter der Drosselklappe Wasserwalzen erheblichen Umfangs, die wegen ihrer Unbeständigkeit und wegen des toten Ganges der Antriebvorrichtungen bald nach dieser, bald nach jener Richtung Kraftläuferungen und Erschütterungen hervorrufen. Da hierdurch der Bestand der Klappe gefährdet wird, ist es nicht angängig, sie längere Zeit in Zwischenstellungen zu halten.

Eine Schließbewegung der Klappe ist in Entnahmeleitungen bei den hier vorhandenen geringen Geschwindigkeiten ohne weiteres möglich. Dagegen können die Absperrorgane nicht für Grundablässe benutzt werden, da sie bei einer Betätigung unter den hohen Geschwindigkeiten mit der Zeit in ihrem Bestande gefährdet werden.

Schlußstellung. Bei geschlossener Drosselklappe wirkt auf die gesamte, dem Oberwasser zugekehrte Scheibenseite mit einer nur dem Rohrquerschnitt entsprechenden Größe der volle hydrostatische Druck, der durch die Achsen aufgenommen wird. Der Wasserdruck erzeugt ferner infolge der ungleichen Aufteilung und gegebenenfalls auch infolge der Lagerung der Klappe ein Moment, wodurch diese fest an die Wandung der Rohrleitung gepreßt wird. Die Lagerung der Klappe ist insofern von Bedeutung, als bei senkrechter Anordnung der Wasserdruck für die Flächen rechts und links der Achse die gleiche Einheitskraft hat, jedoch bei

waagerechter Anordnung für die Flächen ober- und unterhalb der Achse verschieden ist, was selbstverständlich bei der Aufteilung der Klappe berücksichtigt wird.

b) 3. Dichtigkeit der Drosselklappe.

Die geschlossene Drosselklappe erzielt nicht die Dichtigkeit wie die meisten anderen Absperrorgane. Denn an den Rändern der Klappe tritt stets Spritzwasser in den unterhalb belegenen Rohrteil durch. An mehreren neuen Klappen von 0,9 m Durchm. wurde durch die Firma Voith-Heidenheim bei 50 m Druckhöhe ein Wasserabfluß von durchschnittlich $\frac{1}{3}$ l/sek beobachtet. Nach längerer Betriebszeit dürfte sich die Undichtigkeit noch vergrößern. Da infolgedessen mit dem Einbau einer Drosselklappe nennenswerte Wasser- und Energieverluste verbunden sind, kann das Absperrorgan nicht als Hauptverschluß benutzt werden, sondern muß in seiner Anwendung auf die Sicherung von Leitungen gegen Rohrbruch als Reserveverschluß beschränkt bleiben.

c) Zusammenfassender Überblick über die Drosselklappe.

Die Drosselklappe weist in der Offenstellung stets einen hohen Druckhöhenverlust auf, dessen Größe für mittlere Durchmesser zu $h = rd. 0,26 \cdot \frac{v^2}{2g}$ festgestellt wurde. — Hinsichtlich der Form der Klappe ist zu sagen, daß der in Abb. 42 vorgeschlagene Querschnitt in hydraulischer Beziehung etwas günstiger als die gebräuchlichen Klappen sein dürfte. — Die in Zwischenstellungen an dem Verschlussorgan auftretenden Abflußverhältnisse verursachen außerordentlich ungünstige Beanspruchungen, so daß die Drosselung der Klappe und in Grundablässen auch die Bewegung nicht zulässig ist. Die Drosselklappe kann also lediglich in Entnahmeleitungen eingebaut und hier zur Öffnungs- und Schließbewegung benutzt werden. — In geschlossenem Zustande wirkt der hydrostatische Druck auf eine dem Rohrquerschnitt entsprechende Fläche.

Mit der Drosselklappe kann keine vollständige Dichtigkeit erzielt werden; vielmehr wird an den Rändern der Klappe stets austretendes Spritzwasser zu beobachten sein, so daß von ihrer Verwendung als Hauptverschluß abgesehen werden muß.

d) Anwendungsbereich der Drosselklappe.

Die Drosselklappe kann in Entnahmeleitungen von Talsperren als Schnellschlußorgan verwendet und dabei am Anfang einer gegen Rohrbruch zu sichernden Leitungstrecke angeordnet werden.

Ihre Benutzung in Wasserkraftwerken hat den Nachweis erbracht, daß sie mit beliebigen Abmessungen eingebaut und auch unter hohen Drücken betrieben werden kann. Die größte bisher ausgeführte Klappe (von der Firma Voith in Heidenheim nach Ujigava in Japan geliefert) hat einen Durchmesser von 4,1 m; die größte Druckhöhe, unter der eine Klappe von allerdings kleineren Abmessungen, 1,67 m Durchm., gehalten wird, beträgt 210 m (von Voith-Heidenheim nach Tepexic in Mexico geliefert).

An wesentlichen Anlagen sind in Deutschland u. a. im Betrieb:

Talsperre	Durchmesser der Drosselklappe m	Betriebsdruck der Drosselklappe m
Walchenseewerk	2,25	25,0
Herdecke (Essen)	3,20	33,5
Radaunewerk Bölkau-Danzig	1,40	45,0
Dhronkraftwerk Trier	1,20	120,0