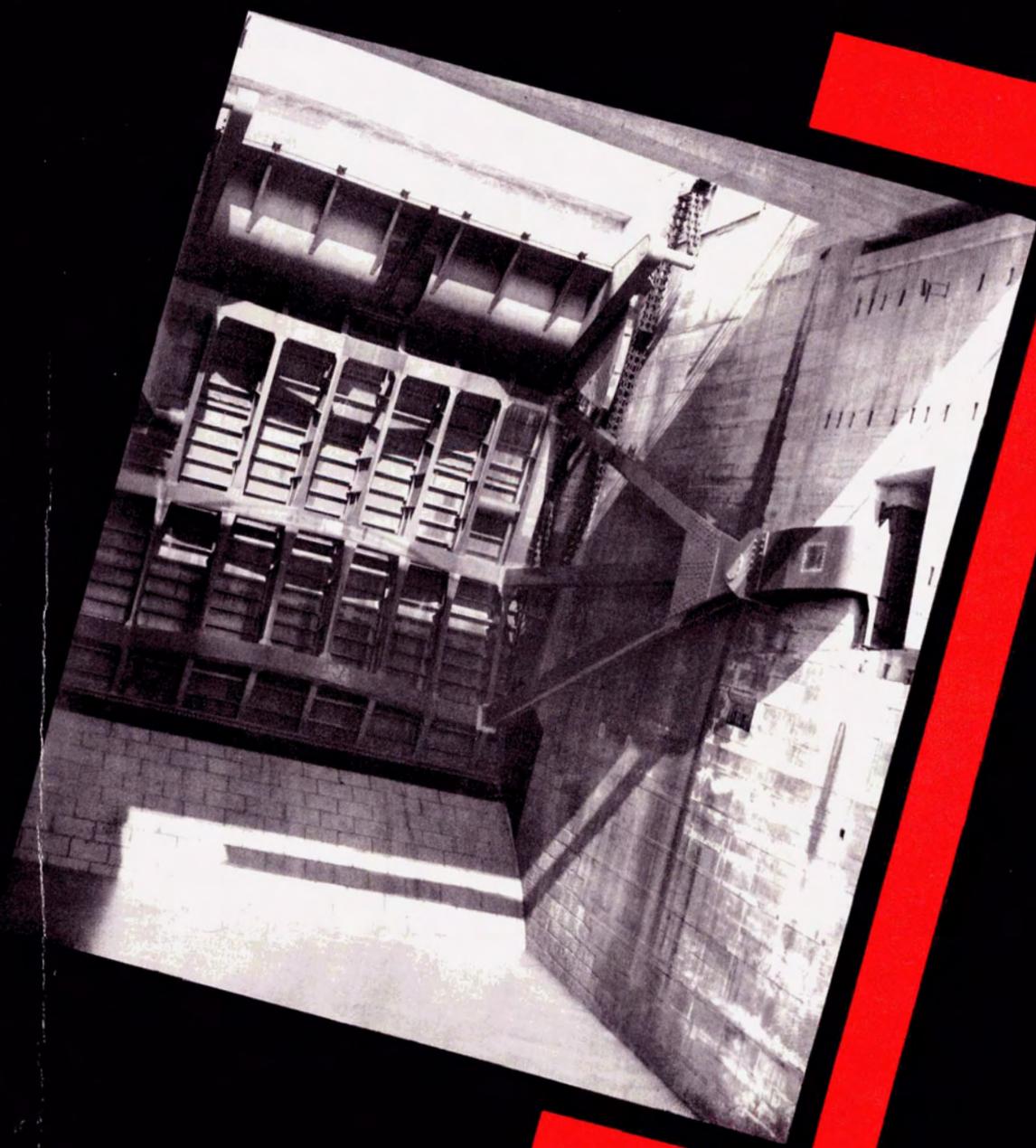


ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN STAHLBAUVERBANDES



Stahlbau

Kundschaun

Heft 29 – 1966

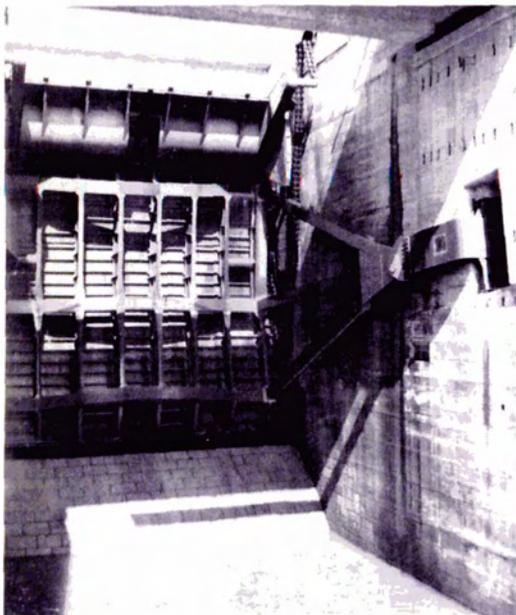
SONDERHEFT
ÖSTERREICHISCHE
STAHLBAUTAGUNG 1965
LINZ/DONAU

Inhalt

Der Ausbau der österreichischen Donau als Kraftwasserstraße (Dipl.-Ing. H. Böhmer)	Seite 5
Neuere Entwicklung im Stahlwasserbau (Dipl.-Ing. A. Liebl)	Seite 9
Stahlwasserbau in Mitteleuropa und in Großraumgebieten – Charakteristische Unterschiede (Dr. techn. R. Heckel)	Seite 18
Die Druckstollen- und Druckschachtpanzerung des Kaunertalkraftwerkes – Neue Wege zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit hochbeanspruchter Stahlblechhautkleidungen (Dr. Ing. H. Lauffer) . .	Seite 29
Konstruktive Entwicklungen im Groß-Turbinenbau (Dr. Ing. F. Scheuer)	Seite 39
Historische Entwicklung, Aufgabenstellung und deren Lösung im Bau von Schleusen in Wasserstraßen (Dipl.-Ing. W. Roehle)	Seite 46
Bemessung von Stahlwasserbauten unter Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung (Dr. Ing. E. Mistéth)	Seite 54
Extracts	Seite 57

Contents

Expansion of hydro-electric power stations at the Danube river, Austria (Dipl.-Ing. H. Böhmer)	Page 5
New development in hydraulic steel structures (Dipl.-Ing. A. Liebl)	Page 9
Hydraulic steel structures in Central Europe and large areas – Characteristic differences (Dr. techn. R. Heckel)	Page 18
Pressure tunnel and pressure shaft liners of the "Kaunertal-power station", New ways for increasing safety and economy of steel liners subject to high pressure (Dr. Ing. H. Lauffer)	Page 29
Constructive development in large size turbine construction (Dr. Ing. F. Scheuer)	Page 39
Historic development, task and their solution in the construction of locks on waterways (Dipl.-Ing. W. Roehle)	Page 46
Dimensioning of hydraulic steel structures under application of the Probability Theory (Dr. Ing. E. Mistéth)	Page 54
Extracts	Page 57



Kraftwerk Edling, Klappensegmentverschluß
Power station "Edling", gate with flap

Eigentümer und Herausgeber: Österreichischer Stahlbauverband, Wien; für den Inhalt verantwortlich: Dr. Hugo Dienes, beide 1090 Wien, Fürstengasse 1 (Palais Liechtenstein); Verleger: Dipl.-Ing. Rudolf Bohmann Industrie- und Fachverlag, 1010 Wien, Canovagasse 5; Redaktionelle Gestaltung: Ing. H. Wanke; Druck: Buchdruckerei Weiss & Co., 1030 Wien, Ungargasse 2, Tel. 73 23 12

Stahlbau

Kundschau

Zeitschrift des Österreichischen Stahlbauverbandes

Heft 29

Sonderheft: Österreichische Stahlbautagung 1965

1966

Zur Eröffnung der Österreichischen Stahlbautagung 1965 in Linz/Donau

Von Direktor Dr.-Ing. H. Schön, Präsident des Österreichischen Stahlbauverbandes

Sehr geehrter Herr Landeshauptmann!
Sehr geehrter Herr Landesrat!
Sehr geehrter Herr Bürgermeister!
Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Ich habe die Ehre und Freude, Sie im Namen des Vorstandes des Österreichischen Stahlbauverbandes auf das herzlichste begrüßen zu dürfen.

Besonders willkommen heiße ich den Herrn Landeshauptmann Bernaschek, den Herrn Landesrat Dr. Wildfellner sowie den Herrn Bürgermeister der Landeshauptstadt Linz, Edmund Aigner, die trotz ihrer so vielfältigen sonstigen Inanspruchnahme sich die Zeit genommen haben, zur Eröffnung unserer Tagung hier zu erscheinen, um unseren Kongreß im Namen von Land und Stadt zu begrüßen.

Ich darf ferner die Vertreter des Bundeskanzleramtes, des Bundesministeriums für Handel und Wiederaufbau und der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen herzlichst willkommen heißen. Es ist uns eine Ehre, daß auch das deutsche Bundesverkehrsministerium in Bonn so maßgeblich vertreten ist.

Ich begrüße die Repräsentanten der Oberösterreichischen Landesbehörden und der Bundesbahndirektion Linz, des Magistrates der Bundeshauptstadt Linz sowie der Landesbehörden der anderen österreichischen Bundesländer.

Mit Freude darf ich feststellen, daß auch wieder zahlreiche Professoren technischer Hochschulen zu den Besuchern unserer Tagung gehören;

ist es doch ein Zeichen der so notwendigen Verbundenheit von Wissenschaft und Praxis, die sich gegenseitig zu befruchten und zu fördern haben. Die eminente Wichtigkeit des gegenseitigen Interesses kann nicht genug betont werden. Außerdem haben die Hochschulen — und neben ihnen die Höheren Technischen Lehranstalten — unter anderem ja auch die für uns lebenswichtige Aufgabe, den notwendigen Nachwuchs für unsere Industrie heranzuziehen.

So darf ich die Herren Vertreter der Professorenkollegien der technischen Hochschulen von Wien und Graz und darüber hinaus von Belgrad, Braunschweig, Ljubljana (Laibach), Stuttgart und Timisoara (Rumänien) ganz besonders herzlich begrüßen.

In alter Verbundenheit mit dem uns befreundeten Deutschen Stahlbauverband grüße ich dessen geschäftsführenden Vorstand und dessen technischen Leiter, die wir hier zu unseren Gästen zählen dürfen. Leider mußte Herr Prof. Wolf, der sich zu unserer Tagung schon angemeldet hatte, auf ärztlichen Rat von der Reise Abstand nehmen. Unser besonderer Gruß gilt diesem unserem alten Freund, verbunden mit unseren besten Wünschen für die Wiederherstellung seiner Gesundheit.

Ebenso heiße ich den Herrn Generalsekretär des französischen Stahlbauverbandes und den Delegierten der jugoslawischen Gesellschaft der Baukonstruktoren willkommen.

Redaktioneller Hinweis:

Bei der Österreichischen Stahlbautagung 1965 in Linz wurde von den Vortragenden eine große Zahl von Lichtbildern gezeigt. Aus technischen Gründen ist es nicht möglich, alle diese Bilder zu veröffentlichen, weshalb nur eine beschränkte Auswahl getroffen werden konnte.

88.715 II
[12]

1966

Wir können auch heuer wieder trotz des ungünstigen Termines unserer Tagung, die mit der Tagung des Ständigen Ausschusses der IVBH auf Madeira und einigen anderen internationalen Kongressen kollidiert, zahlreiche Gäste aus dem Ausland begrüßen. Besonders stark ist die Deutsche Bundesrepublik vertreten, aber auch aus Frankreich, Italien, Japan, den Niederlanden, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Ungarn und Jugoslawien sind interessierte Fachleute zu uns gekommen, die ich auf das herzlichste willkommen heißen darf.

Ich begrüße ferner die Präsidenten der Ingenieurkammer für Oberösterreich und Salzburg, des Landesvereines Oberösterreich des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines und des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, sowie die zahlreich erschienenen Repräsentanten der österreichischen Energiewirtschaft, die auch zu unseren wesentlichen Bauherren und Auftraggebern zählen.

Es ist uns eine Ehre, daß auch mehrere ausländische Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die ebenfalls zu unseren Auftraggebern gehören, hier so maßgeblich vertreten sind: so die Schluchseewerk AG, Freiburg im Breisgau, die Jochenstein-AG, Passau, und Vattenfall, Stockholm, sowie die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe.

Es freut uns, die Delegierten der Schriftleitungen der Fachzeitschriften „Der Bauingenieur“ und „Der Stahlbau“ bei uns haben zu können, ebenso wie die Vertreter der Tagespresse.

Der Vorstand des Österreichischen Stahlbauverbandes erlaubt sich, den Herrn Präsidenten des Aufsichtsrates der VOEST, die Herren Vorstandsdirektoren unserer Gründer- und Stammfirmen sowie die Herren Inhaber und Delegierten unserer Mitgliedsfirmen besonders zu begrüßen.

Ich begrüße herzlichst alle unsere lieben Freunde aus dem In- und Ausland, alte und neue, die sich heuer wieder zu unserer Stahlbautagung zusammengefunden haben, und ich wünsche ihnen allen ein paar interessante, aber auch angenehme Tage in diesem reizvollen Land Oberösterreich.

Last not least möchte ich aber die Herren Vortragenden besonders herzlich willkommen heißen. Auf ihnen liegt die Hauptlast unserer Veranstaltung und wir sind ihnen für die Arbeit, die sie neben ihren umfangreichen beruflichen Pflichten bereitwillig im Dienst der Sache auf sich genommen haben, sehr zu Dank verpflichtet.

Am Ende meiner Begrüßung sei es mir erlaubt, etwas Persönliches vorzubringen. Auf der Stahlbautagung 1955 in Salzburg konnten wir zwei bedeutenden österreichischen Stahlbauern, die uns in herzlicher Freundschaft verbunden sind, zum 50. Geburtstag gratulieren. Es waren dies die Herren Professoren Sattler und Beer.

Heute können wir Herrn Prof. Sattler bei uns haben, und so darf ich ihm nun zu seinem 60. Geburtstag, den er Ende dieses Monats feiert, schon jetzt die herzlichsten Glückwünsche des Österreichischen Stahlbauverbandes aussprechen. Der gleiche Glückwunsch und unser Gruß gilt auch

Herrn Prof. Beer, der als Präsident der Kommission für Stahlbau innerhalb der Internationalen Vereinigung für Brücken- und Hochbau selbstverständlich zur Sitzung deren Ständigen Ausschusses nach Funchal auf Madeira mußte und deshalb nicht hier sein kann. Wir wünschen beiden Herren viel Glück und Erfolg und die Fortsetzung ihrer außerordentlichen Schaffenskraft für ihr soeben beginnendes neues Lebensjahrzehnt.

Nachdem die erste Österreichische Stahlbautagung im Jahre 1952, als Österreich noch von den vier Großmächten besetzt war, hier in Linz in eben diesem Saal stattgefunden hatte, veranstaltete der Österreichische Stahlbauverband seit 1955 in jedem zweiten Herbst seine Tagung, mit der man jedesmal in ein anderes Bundesland ging. So kam nach Salzburg, Velden-Klagenfurt, Wien, Innsbruck-Igls und Graz nun wieder Linz und Oberösterreich an die Reihe.

Nun, Oberösterreich liegt zwischen Inn und Enns, und Linz liegt an der Donau und die Donau hat eine überragende Bedeutung als mächtige Energiespenderin und Verkehrsträgerin hoher Kapazität nicht nur für unser engeres Heimatland, sondern für weite Teile Europas. In der Nachbarschaft der Stadt Linz sind an Inn, Enns und Donau bedeutende Flußkraftwerke entstanden, von denen ich nur die nächstgelegenen erwähne:

Aschach an der Donau, das mit einem Jahresarbeitsvermögen von mehr als 1,6 Milliarden kWh das derzeit größte mitteleuropäische Flußkraftwerk überhaupt ist; St. Pantaleon, das die unterste Stufe der Enns vor ihrer Mündung in die Donau darstellt und im heurigen Jahr fertiggestellt wurde, und Wallsee an der Donau unterhalb von Linz, an dessen Baubeginn wir gerade stehen.

Was lag daher näher, als auf unserer Tagung in Linz als Generalthema den Stahlwasserbau zu wählen! Und zwar dies umso mehr, als die österreichische Stahlbauindustrie sich gerade auf diesem Spezialgebiet eine hervorragende Stellung auf dem Weltmarkt erarbeitet hat.

Da die österreichische Stahlbauindustrie mit einer Erzeugungskapazität von mehr als 100 000 Jahrestonnen außerordentlich stark exportorientiert ist, um ihre Beschäftigung aufrechterhalten zu können, sind Energiebauten von lebenswichtiger Bedeutung für sie. Dabei gesellen sich zu den Laufkraftwerken die Speicherkraftwerke mit ihren Druckrohrleitungen.

Dies haben wir auch bei der Gestaltung unseres Vortragsprogrammes entsprechend berücksichtigt. So wird Herr Direktor Böhm er, Vorstandsdirektor der Donaukraftwerke, uns noch heute vormittag einen Überblick über die österreichische Donau als Energiewasserstraße geben und Herr Dr. Lauffer, Vorstandsdirektor der Tiroler Wasserkraftwerke AG, morgen vormittag über das soeben vollendete Speicherkraftwerk Kaunertal berichten.



Zu diesen beiden Hauptvorträgen gesellen sich ergänzend das Referat des Herrn Vorstandsdirektors Dr. Scheuer über moderne Großturbinen, deren Zubehörteile, wie Saugschachtpanzerungen, Turbinendeckel, Laufradringe usw. sehr interessante Stahlbauobjekte sind; ferner die Berichte des Herrn Ob.-Ing. Liebl über moderne Stahlwasserbaukonstruktionen und von Herrn Dipl.-Ing. Roehle von den Donaukraftwerken über Schiffahrtsschleusen.

Herr Dir. Heckel wird uns einen interessanten Vergleich zwischen den Bedingungen geben, die der Stahlwasserbau im dichtbesiedelten Europa, wo jeder Quadratmeter Boden eine Rolle spielt, erfüllen muß, und den Möglichkeiten, die sich dem Stahlwasserbau in dünn besiedelten Großräumen in Übersee bieten.

Das weite Gebiet des Stahlbaues bei Wasserkraftwerken ist mit diesen sechs Vorträgen natürlich noch lange nicht erschöpft. Doch wollen wir das Vortragsprogramm einer kurzen Tagung nicht überladen und mußten uns also Beschränkung auferlegen.

Sie finden aber in Ihrer Tagungsmappe noch das neueste Heft der Österreichischen Stahlbau-rundschau, das in Anbetracht der Linzer Tagung weitere Themen des Stahlwasserbaues behandelt.

Auch das Exkursionsprogramm haben wir entsprechend abgestimmt. Die Exkursion am Samstag führt uns selbstverständlich an die Donau nach Aschach. Vorher aber sind wir noch an der untersten und neuesten Stufe der Enns in St. Pantaleon, einem Kraftwerk, das gegenüber dem Riesen Aschach klein erscheinen mag. Doch glauben wir, daß gerade die verschiedene Auslegung dieser beiden Kraftwerke einen interessanten Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten geben kann:

In Aschach ist das Turbinenhaus ein Bestandteil des Staudammes, der Fluß erfährt also keine Unterbrechung, in St. Pantaleon finden Sie infolge der dortigen Gegebenheiten des Geländes ein Kanalkraftwerk. In Aschach haben Sie Doppelhakenschützen mit mechanischen Windwerken, in St. Pantaleon Klappensegmentschützen mit hydraulischer Betätigung.

Der Stahlbauverband hat sich aber auch bemüht, Ihnen bei unseren Exkursionen einen Eindruck von der Vielgestaltigkeit der oberösterreichischen Landschaft zu geben, die auf engstem Raum verschiedenartige Formen vereinigt: die Stromlandschaft der Donau, das Hügelland des Mühlviertels, die Seenlandschaft des Salzkammergutes, das Alpenvorland und das Hochgebirge.

Ähnlich ist es mit der wirtschaftlichen Zusammensetzung. Oberösterreich hat sich in den letzten drei Jahrzehnten von einem vorwiegend bäuerlichen Land, in das Schöpfungen höchster Kunst und Kultur in reicher Zahl eingebettet sind, zu einem Kraftfeld der Industrie entwickelt, das für die österreichische Gesamtwirtschaft von höchster

Bedeutung ist. Der Anteil Oberösterreichs an der gesamtösterreichischen Industriekapazität und am österreichischen Export hat mehr als ein Viertel erreicht, obwohl die Bevölkerung kaum mehr als ein Siebtel der Bevölkerung ganz Österreichs beträgt.

Die Gliederung dieser Industrie ist ebenso vielfältig wie die der oberösterreichischen Landschaft. Ihre Produkte reichen von der Gablonzer Bijouterie und den Brillenfassungen, die von hier ihren Weg in die ganze Welt antreten, bis zu den größten LD-Tiegeln der Welt. Die eisenschaffende und eisenverarbeitende Industrie steht aber in dieser Reihe weitaus an erster Stelle und kann auf eine der ältesten Traditionen zurückblicken.

Meine Damen und Herren, Sie befinden sich hier in Linz auf einem Boden, dessen Geschichte durch zwei Jahrtausende reicht. Das römische Kastell *Lentia* bewachte den Donauübergang beim Austritt des Stromes aus seinem Engtal in die breite Niederung. Die Donau bestimmte zunächst den Charakter der Stadt als Handelsstadt.

Aber als Zeuge für die Frühentwicklung der Industrie an diesem Platz steht hier auch noch der barocke Kolossalbau der ehemaligen k. u. k. Wollzeugfabrik. Der Linzer Donauübergang war auch Gelegenheit für die erste Überlandbahn des Kontinentes von Gmunden über Linz nach Budweis.

Damit seien nur einige Schlaglichter auf die Wirtschaftsgeschichte der Stadt geworfen. Den Atem der vergangenen Zeit spüren Sie noch heute, wenn Sie aufmerksam durch die barocken Viertel der Linzer Altstadt wandern, die — durch Jahrzehnte gering geschätzt und unbeachtet — trotzdem ebenbürtig neben denen anderer Städte stehen, die in dieser Hinsicht bekannter sind.

In der Gegenwart des Linzer Wirtschaftslebens steht aber die Entwicklung der größten Konzentration der österreichischen Schwerindustrie an einem Ort, die mit ihrer Jahresproduktion von fast 2 Mio. t Rohstahl auch in der europäischen Rangliste einen beachtlichen Platz einnimmt. Dazu kommen andere bedeutende Großindustrien und die Entwicklung des Linzer Hafens mit einem Jahresumschlag von fast 4 Mio. t zum größten Hafen an der gesamten oberen und mittleren Donau.

Obwohl die Wohnbevölkerung der Stadt nur 2,9% der österreichischen Bevölkerung ausmacht, erreicht der Anteil von Linz am gesamtösterreichischen Export 13,3%.

Diese Zahlen, die aus einem Bericht des Herrn Staatssekretärs Dr. Kotzina stammen, nenne ich Ihnen, um Ihnen zu zeigen, daß Sie, meine Damen und Herren, hier an einem Punkt Österreichs stehen, an dem uralte Geschichte, Tradition, Kultur und Bodenverbundenheit mit der dynamischen Entwicklung unserer modernen Zeit auf das innigste verflochten sind.

Und so bitte ich Sie, auch von diesem Gesichtspunkt aus unser Programm zu sehen: Es bringt

Sie zwischen der Besichtigung zweier moderner Flußkraftwerke in die uralte Landschaft des Mühlviertels nördlich der Donau; es führt unsere Damen nicht nur in die altehrwürdigen Stifte Wilhering und St. Florian mit der hervorragenden Kunstausstellung der Donauschule, sondern zeigt ihnen auch die alte Eisenstadt Steyr.

Schließlich wollen wir am Sonntag das Bild des Landes mit einer Fahrt in die oberösterreichischen Alpen und zu den Seen des Salzkammergutes abrunden.

Und wenn Ihnen zwischen den Vorträgen des morgigen Vormittags und dem nachmittägigen Empfang bei unserem Herrn Landeshauptmann noch etwas Zeit bleibt, so nützen Sie diese Zeit

zu einem Besuch des Museums im alten Schloß gleich über der Stadt, in dem Kaiser Friedrich III. die letzten Jahre seines Lebens residierte. Sie finden in diesem historischen Bau das jüngste und modernste Museum Österreichs. Es zeigt bodenständige Heimatkunst und außerdem derzeit eine reiche Sammlung der Bildhauer- und Holzschnitzkunst der spätgotischen Donauschule, die als Ergänzung der Ausstellung von St. Florian aus ganz Mitteleuropa zusammengetragen wurde.

Ich darf nun Herrn Landesrat Dr. Wildfellner und den Herrn Bürgermeister der Landeshauptstadt bitten, noch einige Worte an unsere Versammlung zu richten.



Der Ausbau der österreichischen Donau als Kraftwasserstraße*)

Von H. Bö h m e r, Wien

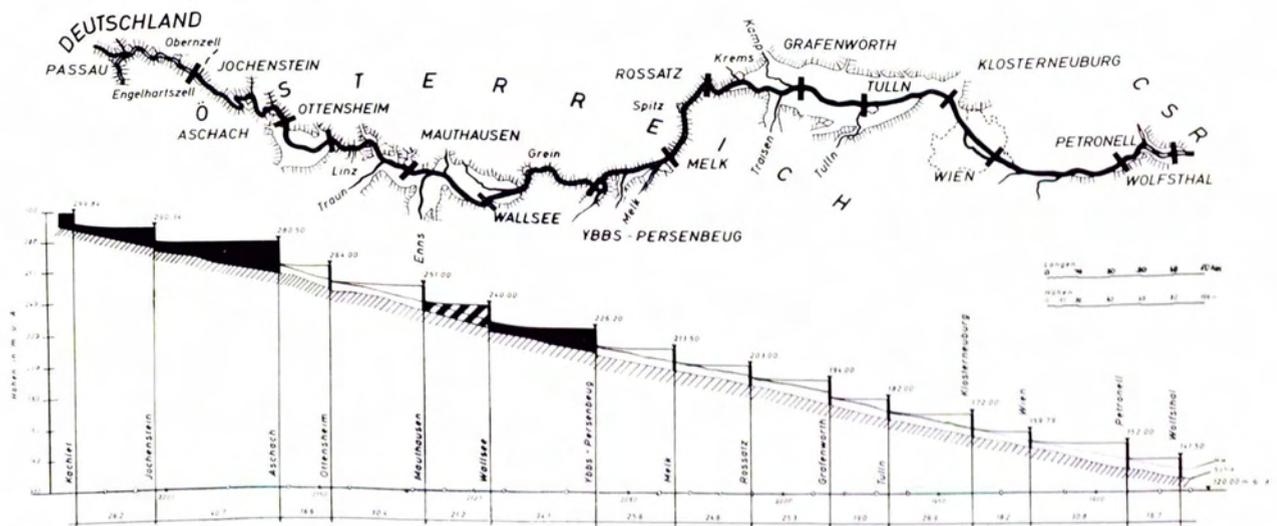
Der Verbrauch an elektrischer Energie hat ein so großes Ausmaß angenommen, daß die im Bau befindlichen Kraftwerke den in den nächsten Jahren eintretenden Bedarf kaum mehr decken werden. Auf Grund langjähriger Beobachtungen rechnet man damit, daß sich nach 10 Jahren der Verbrauch verdoppelt oder daß die jährliche Steigerung 7,2% beträgt. Dieser Wert wird in Österreich schon seit Jahren immer wieder überschritten. Dementsprechend sollte also der Ausbau von Kraftwerken, sowohl von Lauf-, Speicher- als auch von kalorischen Werken vorangetrieben werden. Bei Untersuchungen anlässlich der Projektierung der im Mai 1966 in Angriff genommenen Donaustufe wurde errechnet, daß die Energieerzeugung durch ein Donaukraftwerk noch immer die billigste Art ist, in Österreich elektrischen Strom zu erzeugen, obwohl die Konkurrenz durch kalorische Werke, insbesondere mit öl- und gasbefeuerten Aggregaten, in den letzten Jahren kostenmäßig sehr scharf geworden ist. Aber selbst wenn man annimmt, daß innerhalb kurzer Zeit elektrischer Strom — beispielsweise aus Atomkraftwerken — billiger als aus Wasserkraftwerken zur Verfügung gestellt werden kann, wird der Ausbau der österreichischen Donau zu einer Kraftwasserstraße deswegen nicht zum Erliegen kommen, weil hier besonders die Interessen der Schifffahrt zu berücksichtigen sind. Die Republik Österreich ist im Jänner 1960 der Internationalen Donaukommission

beigetreten, womit die Bestimmungen der Donaukonvention über die Beseitigung von Schifffahrtshindernissen, Schaffung ausreichender Fahrwassertiefen und dergleichen auch für Österreich bindend geworden sind. Die geforderten Fahrwassertiefen, beruhigten Strömungsverhältnisse, zwei Fahrbahnen in Engstrecken und dergleichen mehr können aber nur durch Einstau der betreffenden Flußstrecke geschaffen werden, selbst wenn das Interesse der Energiewirtschaft an einzelnen Stufen aus wirtschaftlichen Gründen nachgelassen hat. Freilich wird man dann für den Ausbau der Donau zu einer Großschiffahrtsstraße, die nach Fertigstellung des Rhein-Main-Donau-Kanals das Schwarze Meer mit der Nordsee verbindet, auf andere Finanzierungsquellen als die derzeitigen zurückgreifen müssen.

Schon allein die beiden Hauptinteressen, die Energiewirtschaft und die Schifffahrt, machen es verständlich, daß seit Beginn dieses Jahrhunderts an Entwürfen zur energiewirtschaftlichen Nutzung der Donau gearbeitet wird. Durch den ersten lückenlosen Rahmenplan wäre es allerdings nur möglich gewesen, etwa 32% der Rohenergie der Donau zu nutzen. Bei dem von der Österreichi-

Bild 1: Lageplan und Längenschnitt der österreichischen Donau stufen

Fig. 1: Layout and longitudinal section of the hydroelectric power stations at the Danube river, Austria



*) Da dieses Referat bereits mehrfach veröffentlicht wurde, bringen wir nur einen Kurzauszug desselben.

Bild 2: Die Schlögener Schlinge vor Baubeginn

Fig. 2: The "Schlögener Schlinge" before construction work was started



Bild 3: Die Schlögener Schlinge nach Stauerrichtung

Fig. 3: The "Schlögener Schlinge" after damming up



Bild 4: Luftbildaufnahme der Stufe Aschach

Fig. 4: Aerial view of power station Aschach



schen Donaukraftwerke AG im Jahre 1955 der Obersten Wasserrechtsbehörde eingereichten Rahmenplan konnte jedoch ein Ausnutzungsgrad von 79% erreicht werden. Bei einem Gefälle dieses wasserreichsten von Mitteleuropa nach dem Osten fließenden Stromes von der deutschen Grenze bei Passau bis zur tschechischen Grenze von rund 155 m, das sind bei einer Länge von rund 350 km etwa 50 cm auf einen Kilometer, und einer Mittelwasserführung an der deutschen Grenze mit Einbezug des Inn von $1580 \text{ m}^3/\text{sek}$ und an der tschechischen Grenze von $1920 \text{ m}^3/\text{sek}$ wird es möglich sein, in 12 rein österreichischen Kraftwerken und mit jeweils dem halben Anteil der Grenzkraftwerke Jochenstein und Wolfsthal, bei einer installierten Leistung von 2267 MW, im Jahre 14 500 Milliarden kWh zu erzeugen.

Bisher wurde das deutsch-österreichische Gemeinschaftskraftwerk Jochenstein errichtet; in den Jahren 1959 bis 1964 das größte österreichische Donaukraftwerk, die Stufe Aschach, mit einer Ausbauleistung von 263 MW und einer Jahresarbeit von 1600 GWh erbaut. Hier gelang es durch den Aufstau und durch Regulierungsbauten, einen zweibahnigen Schiffsverkehr durch die

Bild 5: Modellbild der Stufe Wallsee – Mitterkirchen

Fig. 5: Model of power station Wallsee-Mitterkirchen



Schlögener Schlinge zu ermöglichen. Das Unterliegerwerk von Aschach, die Stufe Ottensheim, wird die Untiefen beim Brandstätter Kachlet überstauen und so dieses gefährliche Schifffahrtshindernis beseitigen. Über die Stufe Linz sind derzeit Überlegungen im Gange, ob es möglich ist, durch einen höheren Aufstau bei Mauthausen und eine Unterwassereintiefung bei Ottensheim staufreie Strecken und Energieverluste zu vermeiden, selbst wenn bei Linz kein Donaukraftwerk erbaut werden sollte. Diese Stufe bringt nämlich wesentliche Schwierigkeiten für die Stadt Linz, so daß hier die günstigere Lösung gefunden werden muß. Davon hängt die Stauhöhe und die Auslegung der Stufe Mauthausen ab, während die Staustelle durch die Ennsmündung örtlich festgelegt ist.

Seit Anfang Mai ist die Donaustufe Wallsee, das Oberliegerwerk von Ybbs-Persenbeug, im Bau. Diese ist die erste nicht in einem Engtal, sondern in der Ebene errichtete Donaustufe. Besondere Rücksicht ist auf die Dichtung der Dämme im Stauraum und auf die Erhaltung der Hochwasser-Retentionsräume, sowie auf den für Bauarbeiten schwierigen Untergrund, nämlich Schlier, zu nehmen. Andererseits wird es möglich sein, die Stufe Wallsee in kürzester Bauzeit zu errichten. Die Anlagen werden in einem Durchstich im Trockenen und in einer einzigen Baugrube errichtet. Dabei wird jene Schlinge des Schloßfelsens Wallsee abgeschnitten, die bisher der Schifffahrt besondere Schwierigkeiten bereitet hat.

Ybbs-Persenbeug war das erste rein österreichische Donaukraftwerk. Schon im Jahre 1938 hat die Rhein-Main-Donau AG mit den Bauarbeiten begonnen, doch mußten aus kriegsbedingten Gründen die Arbeiten 1943 eingestellt werden. Erst nach Freigabe durch die Besatzungsmacht im Juli 1953 wurden die Bauarbeiten fortgesetzt und beendet, so daß die erste Stromlieferung aus Ybbs im Herbst 1957 aufgenommen werden konnte. Das Werk hat eine Ausbauleistung von 192 MW und kann jährlich 1274 GWh liefern.

Bild 6: Luftbildaufnahme der Stufe Ybbs-Persenbeug

Fig. 6: Aerial view of power station Ybbs-Persenbeug



Bis jetzt wurden in Ybbs-Persenbeug rund 8500 GWh erzeugt. Im Stauraum der Stufe Ybbs gelang es, die gefürchteten Schifffahrtshindernisse im Strudengau zu beseitigen. Durch das Wegsprengen der Sarlinger Schwelle im Winter 1962/63 wurden auch im Unterwasser des Kraftwerkes einwandfreie Schifffahrtsverhältnisse geschaffen.

Bei den Stufen Melk und Rossatz werden besondere Überlegungen der landschaftlichen Ausgestaltung gelten, denn es darf weder das Landschaftsbild beim Stift Melk noch bei Dürnstein ver-

Bild 7: Baugrube zur Entfernung der Sarlinger Schwelle

Fig. 7: Excavation for removing the "Sarlinger Schwelle"



Bild 8: Der schiffbar gemachte Hößgang

Fig. 8: The "Hößgang" made navigable



Bild 9: Die Stadt Grein und die zügige Uferführung nach Absprengung des Schwallecks

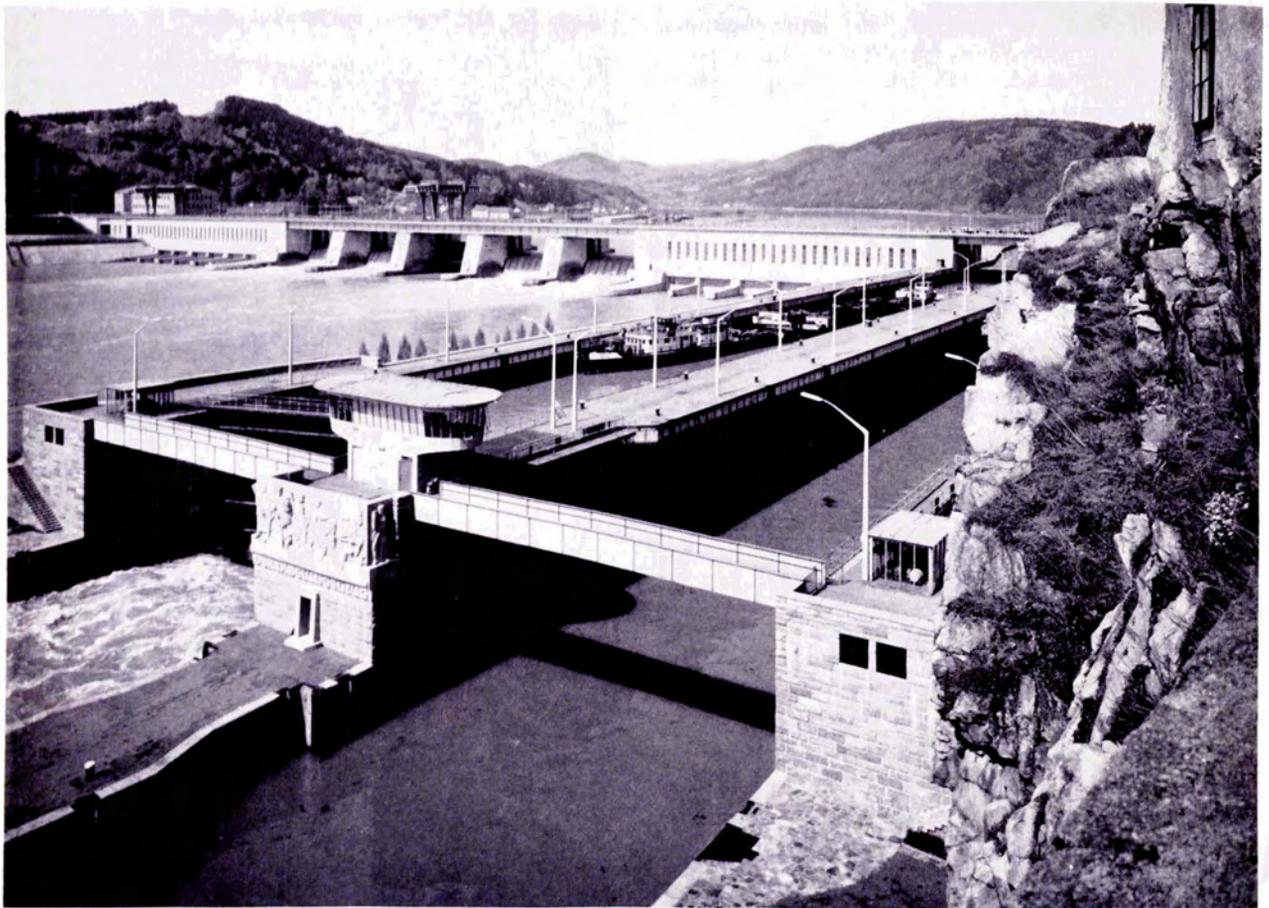
Fig. 9: The river bank at Grein extending continuously after the rock "Schwalleck" has been blasted off.



ändert werden. Die weiteren Stufen im Tullner Feld, bei Grafenwörth und Tulln, verlangen umfangreiche Flußregulierungen. Die Stufen Klosterneuburg und Wien sind insofern kritisch, als bei ihrer Projektierung der Hochwasserschutz der Bundeshauptstadt Wien zu berücksichtigen ist. Die vorliegenden Projekte bringen eine wesentliche Verbesserung der Hochwasserabflußverhältnisse bei Wien. Die letzte Stufe, Petronell, konnte örtlich noch nicht festgelegt werden, da dies davon abhängt, ob das Grenzkraftwerk Wolfsthal, das als tschechisch-österreichisches Gemeinschaftswerk geplant ist, ausgeführt wird oder nicht. Bei Nichtausführung wird die Stufe statt bei Petronell bei Hainburg liegen.

Die technischen Probleme, die beim Bau von Donaukraftwerken auftreten, sind groß und mannigfaltig. Bei den Aufgaben, die der Österreichischen Donaukraftwerke AG beim Ausbau der Donau zu einer Kraftwasser- und Schifffahrtsstraße in den kommenden Jahrzehnten erwachsen, wird es auch auf dem Gebiet des Stahlwasserbaues erforderlich sein, immer bessere und wirtschaftlichere technische Lösungen zu finden.

Dipl.-Ing. Hans B ö h m e r,
Vorstandsdirektor der Österreichischen
Donaukraftwerke AG. Wien



Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug. Gesamtansicht von der Unterwasserseite aus, im Vordergrund die beiden Schleusenammern.

Neuere Entwicklung im Stahlwasserbau

Von A. Liebl, Linz

Auf der ersten Österreichischen Stahlbautagung in Linz im Jahre 1952 wurde über den damaligen Stand der Stahlwasserbaukonstruktionen im Großwehrbau gesprochen. Seit damals hat eine stürmische Entwicklung auf dem Gebiet des Stahlwasserbaues eingesetzt, die sich auf die ganze Welt und insbesondere auch auf Österreich erstreckt hat. Damals waren vom vorhandenen ausbaufähigen Arbeitsvermögen der österreichischen Wasserkräfte von 40 Milliarden kWh 3 Milliarden kWh ausgebaut. Inzwischen wurden zahlreiche Flußkraftwerke, insbesondere am Inn, an der Drau, an der Donau und an der Enns errichtet. Das ausgebaute Wasserkraftpotential aller österreichischen Wasserkraftwerke beträgt zur Zeit 13 Milliarden kWh.

Es drängt sich die Frage auf, ob es richtig ist, in einem Zeitalter, in welchem andere Energieträger einen immer größeren Anteil an der Deckung des Energiebedarfes der Welt bestreiten, noch Wasserkraftwerke zu bauen. Der Zeitpunkt rückt immer näher, an dem die Kernenergie maßgebend an der Energiewirtschaft beteiligt sein wird. Man rechnet, daß das Jahr 1970 diesbezüglich einen Wendepunkt darstellen wird. England wird zum Beispiel bis zu diesem Zeitpunkt 5000 MW, das ist das 20fache der Leistung eines Donaukraftwerkes, aus der Kernenergie zur Verfügung haben. Die Wasserwirtschaft deckt zur Zeit nur mehr 15% des gesamten Weltenergiebedarfes. Die Möglichkeit der Erschließung ausbaufähiger Wasserkraftwerke wird naturgemäß immer kleiner. Trotzdem besteht kein Zweifel, daß in jenen Ländern, die Wasserkräfte zur Verfügung haben – und dazu gehört insbesondere auch Österreich – die Wasserkräfte auch in Zukunft in der Energieversorgung den Vorzug haben werden. Wenn andere Energieträger noch so verlockend sind, ist ein Verzicht auf die uns von der Natur in so reichlichem Maß zur Verfügung gestellte Wasserkraft undenkbar. Hier ist noch ein Faktor zu beachten: Der Vorrat an Erdöl, Erdgas, Kohle usw. ist begrenzt und insbesondere in unserem Land gering. Demgegenüber steht uns die Wasserkraft zeitlich unbegrenzt zur Verfügung. Man darf deshalb überzeugt sein, daß dem Stahlwasserbau in Österreich und im Ausland auch in Zukunft große Aufgaben gestellt sein werden.

Die neuere Entwicklung im Stahlwasserbau erstreckt sich nicht nur auf die Wehrsysteme und deren Stahlkonstruktionen, sondern insbesondere auch auf die Huborgane, die Windwerke und die elektrische Ausrüstung. Diese Entwicklungen sind nun nicht nur in einzelnen Ländern verschieden; in Amerika baute man zum Beispiel keine Doppelhakenschütze, während dieses seit 40 Jahren erprobte Wehrsystem an den großen Flüssen Europas überwiegt. Auch an den verschiedenen Flüssen in Österreich haben sich eigene Entwicklungen abgezeichnet, so daß man heute von einer Bauweise am Inn, einer Bauweise an

der Donau, Enns usw. sprechen kann. Diese Erscheinung hat ihre Ursache vorwiegend in den oft verschiedenen Anforderungen, die an das Wehrverschlußsystem aus betrieblichen Gründen gestellt werden müssen.

Es ist nun sicher lohnend und interessant, die an den verschiedenen österreichischen Flüssen ausgeführten Konstruktionen aufzuzeigen und zu vergleichen, um daraus Schlüsse für die Zukunft zu ziehen. Es sollen deshalb im folgenden die verschiedenen Wehrverschlußsysteme am Inn, an der Donau, an Enns und Drau an Hand von Bildern und Zeichnungen näher erläutert werden.

Für einen Vergleich eignen sich besonders gut die Doppelhakenschütze der Innkraftwerke Braunau, Schärding und Passau-Ingling. Die lichte Durchflußweite beträgt bei allen drei Anlagen 23,00 Meter, die Verschlußhöhe ist bei Braunau und Schärding 13,80 m, bei Passau-Ingling 14,00 m. Die Verschlüsse von Braunau sind noch genietet, Schärding und Passau sowohl in der Werkstätte als auch auf der Baustelle vollkommen geschweißt. Aus der Tabelle I kann die durch das Schweißen der Wehrverschlüsse des Kraftwerkes Schärding erreichte Gewichtsminderung von 25% entnommen werden. Eine weitere Gewichtsminderung konnte jedoch bei den Wehrverschlüssen des Kraftwerkes Passau-Ingling nicht mehr erzielt werden. Die vollkommen geschweißten Stahlkonstruktionen des KW Schärding und Passau-Ingling werden wohl in Wirtschaftlichkeit und Klarheit der Konstruktion kaum mehr übertroffen werden können. Man kann sagen, daß diese Verschlüsse in ihrer nun viele Jahrzehnte währenden Entwicklung eine vollkommene Reife erlangt haben (Bild 1 u. 2).

Gewichts-Tabelle

Weighttable

I N N - S T U F E N						
Kraftwerk	Baujahr	Verschlußart	L.W.	L.H.	Windwerksart	kg / m ² Verschl.FL
BRAUNAU	1951	HAKENSCHÜTZ	23,00	13,80	KETTENWINDWERK	700
SCHÄRDING	1959	φ	23,00	13,80	φ	535
PASSAU-INGLING	1964	φ	23,00	14,00	φ	550

E N N S - S T U F E N						
Kraftwerk	Baujahr	Verschlußart	L.W.	L.H.	Windwerksart	kg / m ² Verschl.FL
ROSENAU	1951	DOPPELHAKENSCHÜTZ	16,00	13,50	KETTENWINDWERK	860
HIEFLAU	1954	SEGMENTSCHÜTZ m Klappe	12,00	9,50	φ	420
ALTENMARKT	1959	φ	12,00	11,00	φ	375
LOSENSTEIN	1961	DOPPELHAKENSCHÜTZ	13,50	16,20	φ	530
PANTALEON	1963	SEGMENTSCHÜTZ m Klappe	14,00	11,20	HYDRAUL. ANTRIEB	475
KRIPPAU	1965	φ	12,00	11,20	KETTENWINDWERK	360
GARSTEN	1965	φ	14,00	12,80	HYDRAUL. ANTRIEB	420

Bei allen Anlagen wurde Material St 37 T, St 44 T und St 52 T verwendet. Nur die Zuggurte der Unterschütz-Hauptträger wurden zur Erlangung der notwendigen Trennbruchsicherheit aus Aldur 50 hergestellt.

Die Windwerke von Braunau und Schärding sind noch als offene Getriebe gebaut, während Passau-Ingling geschlossene Getriebe mit automatischer Druckumlaufschmierung erhalten hat (Bild 3). Der elektrische Antrieb der Windwerke von Braunau, Schärding und Passau-Ingling erfolgt mit elektrisch erzwungenem Gleichlauf. Die elektrische Anordnung erzeugt Höchstmomente, deren Begrenzung grundsätzlich entweder durch Anordnung eines Überlastschutzes oder durch entsprechende Auslegung der elektrischen Ausgleichsmaschinen erfolgt. Während seinerzeit bei Braunau noch der Gleichlauf der Windwerke durch eine sogenannte klassische elektrische Welle erzwungen wurde, wobei alle Windwerksteile mit einer 4-fachen bzw. 4,5-fachen Sicherheit ausgelegt werden mußten, wurde bei den Windwerken der Anlage Schärding und Passau-Ingling der Weg beschritten, die Übertragungsfähigkeit der elektrischen Verbindung der beiden Antriebshälften so auf das Höchstdrehmoment der Antriebsmaschinen abzustimmen, daß im Falle einer Blockierung des Verschlusses auf einer Seite, die Beanspruchung des schwächsten Triebwerksteiles von der Antriebsseite her nicht über das 0,90-fache der Streckgrenze getrieben werden kann.

Aus der Dimensionierung der Maschinenteile für den Oberschütz Antrieb ergab sich, daß der elektrische Antrieb ein maximales Moment in der Größe des 3-fachen Nennmomentes nicht überschreiten durfte. Größere einseitige Momente als das 3-fache Nennmoment führen, ohne daß weitere komplizierte Überlastschutzeinrichtungen erforderlich sind, zum Kippen der Antriebsanordnung und damit zum Stillstand der Windwerke. Eine ähnliche Anordnung wurde auch für die Unterschütz antriebe getroffen, bei welchen das maximale Moment an einer Windwerksseite auf das 2,7-fache Nennmoment ansteigen kann, ohne daß dadurch die nach DIN 19704 vorgeschriebenen Beanspruchungen im außergewöhnlichen Lastfall überschritten werden.

Die federbetätigten Doppelbackenbremsen werden mittels magnet-hydraulischem Bremslüftgerät so eingestellt, daß ein Brechen der elektrischen Welle mit Sicherheit vermieden wird. Das heißt, die Bremsen werden so eingestellt, daß das Bremsmoment stets kleiner ist als das übertragene Ausgleichsmoment der elektrischen Welle. Eine Erprobung dieser sehr wirtschaftlichen Gleichlaufanordnung wurde bei den 3 Kraftwerken auf der Baustelle unter den extremsten Bedingungen, und zwar einseitige Schlaffkette des auf Sohle aufsitzenen Unterschützes mit auf dem Unterschütz aufsitzenen Oberschütz erprobt, wobei der Gleichlauf jedesmal mit Sicherheit erhalten blieb.

Auf Grund der schlechten Erfahrungen mit den Hubketten der Wehranlage Braunau wurde der

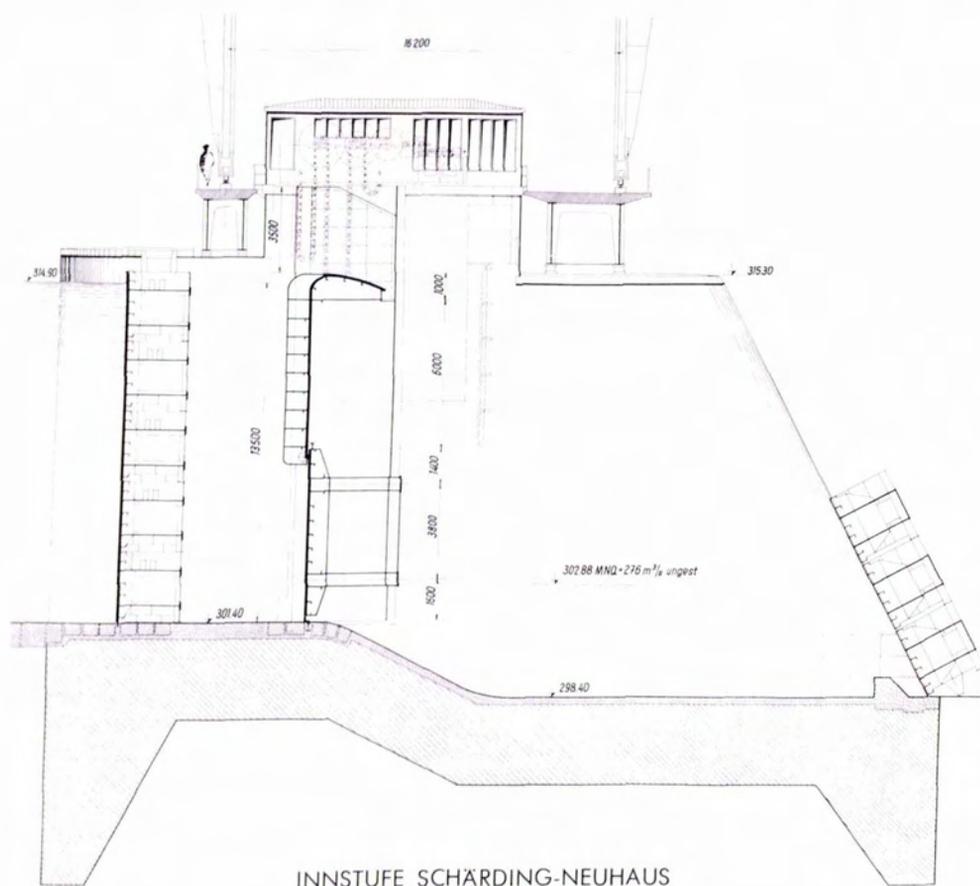


Bild 1: KW Schärding, Querschnitt durch die Wehranlage

Fig. 1: Power station "Schärding", cross section of the weir plant

konstruktiven Durchbildung der Hubketten beim KW Schärding und Passau-Ingling besonderes Augenmerk geschenkt. Von seiten der Österr.-Bayrischen Kraftwerks-AG wurde die Forderung gestellt, daß innerhalb eines 5-Jahres-Turnusses keine wesentlichen Verreibungen an Bolzen und Laschen eintreten dürfen. Es waren also auf Grund der Betriebsstatistik bei Bolzen und Laschen der Oberschützketten 500 Lastumlenkungen und der Unterschützketten 300 Lastumlenkungen ohne Verschleiß zu bewältigen. Die Traglaschen wurden mit einer Vorrichtung gebohrt, die die Einhaltung einer Toleranz von $\pm 0,02$ mm für Teilung und Bohrung gewährleistet.

Die bei der VOEST durchgeführten Versuche brachten folgende Ergebnisse: Bei einer Flächenpressung von 900 kg/mm^2 und einer Berücksichtigung einer maximal möglichen Toleranz von $\pm 0,02$ mm tritt bei Verwendung von handelsüblichen Schmiermitteln (zum Beispiel bei Molykote-Paste G) bereits bei 50 bis 100 Lastumlenkungen ein Verreiben der Bolzen bzw. Laschen ein. Der Beginn der Verreibung konnte an der hydraulischen Prüfmaschine durch den Anstieg des Manometerdruckes gut beobachtet werden. Erst durch eine Sonderbehandlung mit Molykote-Einbrennlack, welcher Lasche und Bolzen unterzogen wurden, gelang es, Lastumlenkungen – wie verlangt – ohne Verrieb zu erreichen. Die Fortsetzung der Versuche ergab, daß bis 5000 Lastumlenkungen bei einer Pressung von 900 kg/mm^2 ohne Verreibungen aufgenommen werden können. Das bedeutet, daß am Inn mit Laschenketten ein wartungsfreier Betrieb von rund 50 Jahren möglich ist. Die in den letzten Jahren oft gebrachten grundsätzlichen Bedenken gegen die Verwendung von Laschenketten bei Wehrverschlüssen sind daher nicht gerechtfertigt.

Die Windwerksträger wurden beim Kraftwerk Braunau noch genietet. Beim Kraftwerk Passau sind die Windwerksträger komplett geschweißt. Die eingeschweißten Lagerkörper sind zusammen mit den Windwerksträgern auf dem Bohrwerk gebohrt; es wurde dadurch eine Genauigkeit der Zahneingriffe erreicht, die bei der früheren Ausführung praktisch nicht möglich war.

An der Donau ist bei den Kraftwerken Jochenstein, Ybbs-Persenbeug, Aschach und bei dem zur Zeit in Bau befindlichen Kraftwerk Wallsee in bezug auf die Fertigung der Verschlüsse eine ähnliche Entwicklung zu verzeichnen wie am Inn. Während die Doppelhakenschütze von Jochenstein noch vollkommen genietet wurden, wurden die Wehrverschlüsse von Ybbs-Persenbeug im Werk vollkommen geschweißt, die Baustellenstöße jedoch genietet. Die Wehrverschlüsse von Aschach wurden sowohl im Werk als auch auf der Baustelle komplett geschweißt, wobei zur Erreichung der notwendigen Alterungs- und Trennbruchsicherheit die Stähle Aldur 50 und 58 verwendet wurden. Während der Eisabfuhr in Jochenstein im Winter 1955/56 wurden die ins Oberwasser ragenden Konstruktionsteile der Obertafel so stark beschädigt, daß die Tafel erneuert werden mußte. Bei Ybbs-Persenbeug wurden die Aussteifungen der Obertafel durch Eisschutz-

rechen gesichert. Eine weitere Entwicklung stellt das Oberschütz des KW Aschach dar (Bild 5), welches eine ebene Eiswand erhielt, die jedoch im unteren Bereich aus hydraulischen Gründen eingezogen werden mußte. Der Nachteil dieser Ausführung liegt im höheren Konstruktionsgewicht der Obertafel und daß bei komplett ineinandergefahrenem Schützenpaket noch zusätzliche Sogkräfte auf das Oberschütz einwirken, die eine Vergrößerung der erforderlichen Hubkraft bewirken.

Bild 2: KW Schärding, überströmte Wehrverschlüsse

Fig. 2: Power station "Schärding", with overtopped weir gates



Während bei Jochenstein noch ebene Stauwände beim Unterschütz verwendet wurden, kam bei den Wehrverschlüssen von Ybbs-Persenbeug die Wellstahlhaut von Waagner Biro und bei den Wehrverschlüssen von Aschach das Schalenschütz der VOEST zur Anwendung (Bild 6 und 7). Beide Schalensbauweisen begegnen dem Nachteil der ungünstigen Lastaufnahme im Stauwandblech infolge Plattenwirkung. In konstruktiver Hinsicht wird in beiden Fällen ein weitmaschiger Aussteifungsrost mit relativ dünnen Stauwänden erreicht. Eine beachtliche Gewichtsverminderung, die

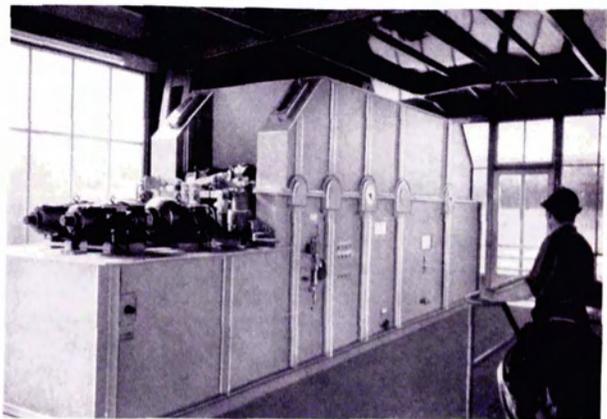


Bild 3: KW Passau-Ingling, geschlossene Getriebe

Fig. 3: Power station "Passau-Ingling", gears in gear-casing

beim Schalenschütz 10% beträgt, wird dadurch erreicht. Daß es möglich war, die Wehrverschlüsse von Aschach bei der 1,8-fachen Belastung mit nahezu dem gleichen Gewicht pro m² Verschußfläche zu bauen wie die Wehrverschlüsse Jochenstein, ist zum

Teil der vollkommen geschweißten Bauweise, aber auch der Anwendung des Schalenausbaus zu verdanken. Inzwischen wurde diese Schalenausbauweise auf Grund einer Anregung von Herrn Prof. Dr. Beer bereits weiterentwickelt.

Da die freitragenden Zylinderschalen im Bereich des Auflagers allein nicht in der Lage waren, die Querkräfte aufzunehmen, mußten diese Schalen in der Endzone entsprechend ausgesteift werden. Mit Hilfe einer Konoidschale, die dann in die Zylinderschale übergeht, wird es möglich sein, ohne Aussteifungsrippen die notwendige Krafteinleitung zu erreichen. Eine weitere Gewichtsersparnis und auch Ersparnis an Schweißarbeit wird dadurch ermöglicht (Bild 8).

Die Entwicklung der Windwerke an der Donau lief teilweise parallel mit der Windwerksentwicklung am Inn. Während die Windwerke von Jochenstein und Ybbs-Persenbeug noch eine offene Bauweise zeigen, wurden die von der MAN gelieferten Windwerke der Wehrverschlüsse des Kraftwerkes Aschach vollkommen geschlossen. Auch die zur Zeit in Bau befindlichen Windwerke für das Kraftwerk Wallsee werden in vollkommener geschlossener Bauweise hergestellt. Grundsätzlich verschieden ist jedoch die Konstruktion der Huborgane und der elek-

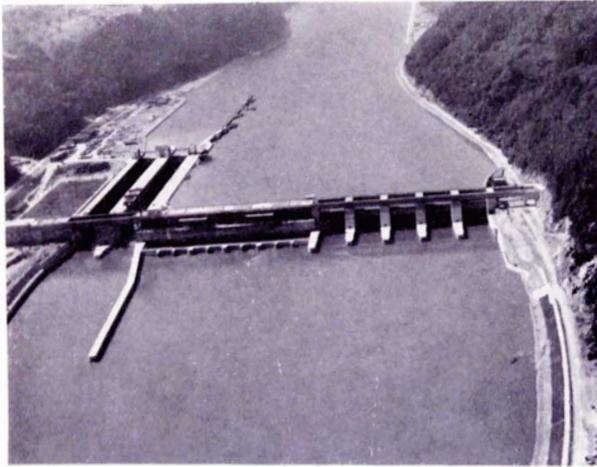


Bild 4: KW Aschach, Gesamtansicht

Fig. 4: Power station "Aschach", total view

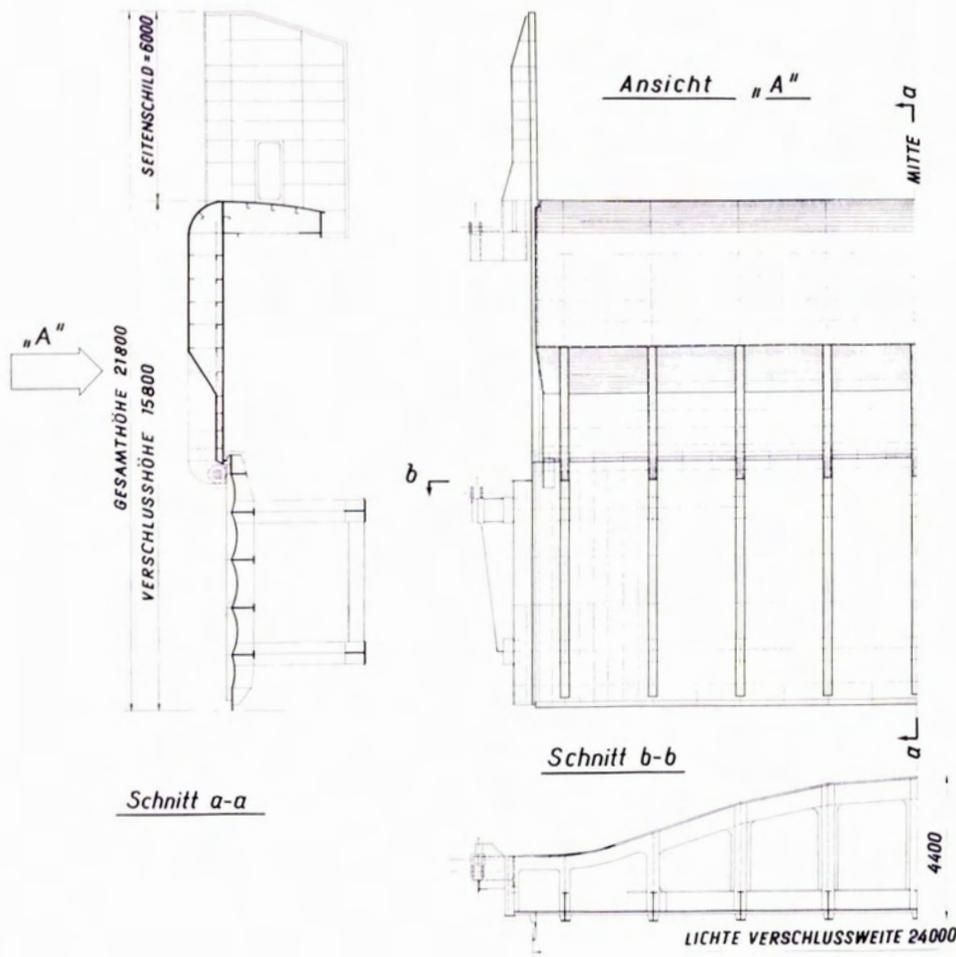


Bild 5: KW Aschach, Querschnitt durch die Wehranlage

Fig. 5: Power station "Aschach", cross section of the weir plant



Bild 6: KW Aschach, Schalenschütz

Fig. 6: Power station "Aschach", shell type gate

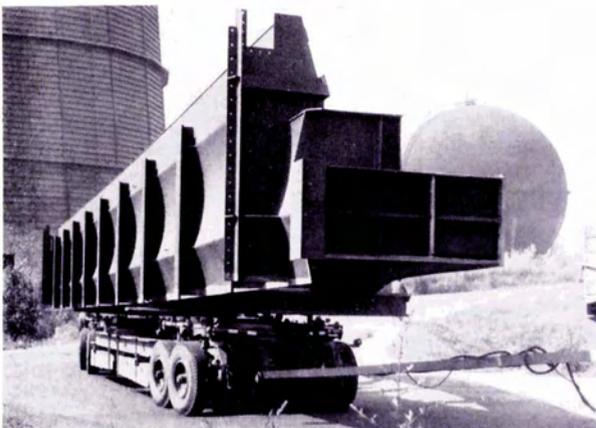


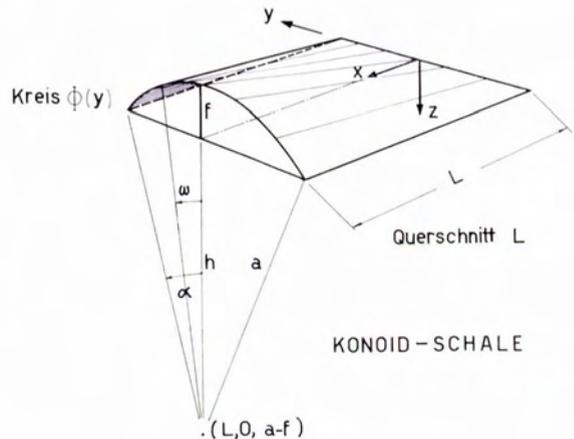
Bild 7: KW Aschach, Transport des Unterschütz-Hauptträgers zur Baustelle

Fig. 7: Power station "Aschach", transport of main girder of sluice gate to site

trischen Ausrüstung. Während am Inn sich die reduzierte elektrische Welle mit kleineren Ausgleichsmaschinen bestens bewährt hat, wird der Gleichlauf der Windwerke für die Wehrverschlüsse an der Donau durch die sogenannte klassische elektrische Welle erzwungen. Während am Inn ohne Überlastschutz mit der normalen Dimensionierung der Windwerke nach DIN 19704 das Auslangen gefunden werden kann, muß an der Donau bei Verwendung der klassischen elektrischen Welle mit den starken Ausgleichsmaschinen ein besonderer Überlastschutz für die Windwerke vorgesehen werden. Dieser Überlastschutz erfolgt durch Kraftmeßdosen, die an der Ritzelwelle eingebaut sind und in den Sekundärstromkreis geschaltet werden müssen. Der Vorteil der Anordnung liegt wohl darin, daß die Kettenzugkraft indirekt gemessen werden kann und gleichzeitig auch eine Schlaffkettenbildung vermieden wird. Diese Ausführung ist jedoch aufwendiger, da bei der klassischen elektrischen Welle die zirka 2,3fache elektrische Leistung installiert werden muß gegenüber der vorerwähnten reduzierten elektrischen Leistung, bei der mit einer 1,5fachen installierten elektrischen Leistung ohne Anordnung eines Überlastschutzes das Auslangen gefunden werden kann.

Bild 8: KW Aschach, Konoidschale

Fig. 8: Power station "Aschach", conoid shell



Auch die Huborgane an der Donau zeigen eine andere Entwicklung als am Inn. Bei Jochenstein wurden – wie am Inn – noch die üblichen Laschenkettens verwendet, bei Ybbs-Persenbeug, bei Aschach und jetzt auch bei Wallsee kommen jedoch Triebstock-Ketten zur Ausführung. Bei dieser Konstruktion wird der drei Teilungen umfassende Triebstockteil senkrecht am Ritzel vorbeigeführt. Die Umlenkung der Kette erfolgt also ohne Last. Hier ist jedoch ein Gleiten des Triebstockbolzens an der Zahnflanke des Triebstockritzels bei einer Hertzischen Pressung von rund 20 000 kg/cm² vorhanden, weshalb es notwendig ist, Triebstockritzels und Triebstockbolzen aus oberflächenbehandelten, hochwertigen Stählen herzustellen. Demgegenüber kann bei der molykote-behandelten Laschenkette mit den üblichen Stählen C 45 und C 60 das Auslangen gefun-



Bild 9: Klappensegmentwehr des KW Hieflau

Fig. 9: Power station "Hieflau", radial gates with flaps

den werden. Die Lebensdauer beider Huborgane kann auf Grund der bisherigen Erfahrungen im Wehrbetrieb als gleich angesehen werden.

Die Entwicklung an der Enns verlief wieder ganz anders als am Inn und an der Donau: Im Jahre 1954 wurden zum erstenmal an der Enns Klappensegmentverschlüsse für das Kraftwerk Hieflau gebaut. Mit Ausnahme des Kraftwerkes Losenstein, bei dem im Jahre 1958 noch Doppelhakenschütze für die Wehrverschlüsse verwendet wurden, haben die Klappensegmentverschlüsse alle bisher an der Enns gebauten Wehrverschlusssysteme verdrängt. In der Tabelle 1 sind die seit 1954 an der Enns gebauten oder im Bau befindlichen Klappensegmentverschlüsse angeführt. Der Grund für die Überlegenheit der Klappensegmentverschlüsse gegenüber anderen Wehrsystemen liegt in ihrer großen Wirtschaftlichkeit. Aus der Tabelle ist auch das Gewicht pro m^2 Ver-

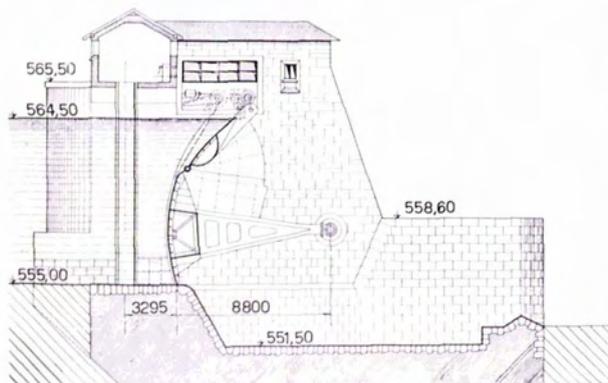


Bild 10: Querschnitt des Klappensegmentwehres KW Hieflau

Fig. 10: Cross section of radial gates with flaps power station "Hieflau"

schlußfläche der verschiedenen Klappensegmentverschlüsse zu ersehen. Es wäre ganz ausgeschlossen, zum Beispiel Doppelhakenschütze mit einem so geringen Gewicht pro m^2 Verschlussfläche herzustellen. Es sind jedoch auch technische und betriebliche Vorteile bei Verwendung der Klappensegmentverschlüsse vorhanden, die an der Enns für die Wahl dieses Wehrverschlusses immer wieder von ausschlaggebender Bedeutung waren.

Nachstehend sollen diese Vorteile kurz zusammengefaßt werden:

1. Die erforderlichen Hubkräfte der Klappensegmentverschlüsse sind geringer als die von Doppelhakenschütze, da das Gewicht der Verschlüsse kleiner ist, die rollende Reibung entfällt und durch richtige Wahl der exzentrischen Lagerung des Segmentdrehpunktes die Hubkraft wesentlich vermindert werden kann.

2. Die Dichtung zwischen Ober- und Untertafel bewegt sich nicht wie bei den Doppelhakenschütze entlang einer über die ganze Verschlussweite vorzusehenden Dichtungsschleiffäche, sondern ist fest mit der Klappe bzw. dem Segment verbunden, wodurch eine ausgezeichnete Dichtheit erreicht werden kann.

3. Die glatten Stauwände des Segmentes mit der Klappe bieten dem anströmenden Eis praktisch keinen Widerstand, wodurch ohne Anordnung von zusätzlichen Konstruktionen eine volle Funktionssicherheit gegeben ist.

4. Die tiefen Wehrrischen der Doppelhakenschütze können bei Klappensegmentverschlüssen vollkommen entfallen, wodurch sich hydraulische Vorteile und Vorteile bei der Bemessung der Wehrpfeiler ergeben.

5. Werden Klappensegmentverschlüsse mit fest in den Wehrpfeiler einbetonierten Klappendichtungsschleiffächen aus Stahl verwendet, steht die volle Wehrrbreite für die Wasserabfuhr über die Klappen zur Verfügung.

6. Durch Anordnung einer geeigneten Vorspannkonstruktion können beliebig große Auflagerkräfte im Drehgelenk gleichmäßig in den Wehrpfeiler eingeleitet werden.

Die Absenkbareit der Klappensegmentwehre ist geringer als die von Doppelhakenschütze, doch dürfte die erreichbare Absenkbareit von einem Drittel der Verschlusshöhe in den meisten Fällen den Anforderungen im Betrieb genügen.

Um die Entwicklung der Klappensegmentwehre an der Enns zeigen zu können, sollen die wesentlichen Merkmale der seit 1954 gebauten Verschlüsse nachstehend erläutert werden.

Kraftwerk Hieflau – siehe Bild 9 und 10 – Das Wehr des KW Hieflau besitzt kastenförmig ausgebildete Segmentverschlüsse sowie torsionssteife Überfallklappen. Die seitlichen Dichtungen der Klappe schleifen auf stählernen Dichtungsschleiffächen, die mit dem Segmentverschluß direkt verbunden sind.

Für die Einleitung der Auflagerkräfte im Drehgelenk wurde ein stählernes Rohr verwendet, in dem die Achsen der Drehgelenke gelagert sind. Das Verankerungsrohr ist durch eine schlaffe Bewehrung mit dem Wehrpfeiler verbunden.

Der Antrieb von Klappe und Segment erfolgt durch zwei getrennt voneinander arbeitende Ketten-Windwerke.

Kraftwerk Altenmarkt. Die konstruktive Ausbildung der Verschlüsse ist gleich wie bei den Verschlüssen für das KW Hiefrau. Neu ist jedoch die Art der Verankerung des Drehgelenkes. Statt der sonst üblichen stählernen Verankerungsträger wurden hier stählerne Abstützböcke verwendet, die durch vorgespannte Anker in Längsrichtung des Pfeilers und senkrecht zum Pfeiler angeordnet, die Auflagerkräfte direkt in den Beton einleiten.

Die Anker sind in Längsrichtung des Pfeilers bis zur Oberwasserseite des Wehrpfeilers geführt, wodurch Ribbildungen im Pfeiler infolge von Zugkräften vermieden werden. Neben dem vorgegebenen klaren Krafffluß wird das Mitwirken eines möglichst großen Betonblockes für die Einleitung der konzentrierten Auflagerkräfte erreicht.

Es hat sich im Betrieb des KW Hiefrau gezeigt, daß ein gleichzeitiges Bewegen von Klappe und Segment nicht notwendig ist, weshalb beim KW Altenmarkt Klappe und Segment vom gleichen Kettenwindwerk betätigt werden. Es wird zuerst die Klappe umgelegt und dann der Segmentverschluß mit umgelegter Klappe gehoben.

Die Segmentverschlüsse des Kraftwerkes Krippau sind ebenfalls als Kastenschützen ausgebildet. Die Überfallklappe ist hier keine torsionssteife Fischbauchklappe, sondern eine Trägerklappe. Die Befestigung der Klappe am Segment erfolgt nicht wie bei Hiefrau und Altenmarkt mit Scharniergelenken, sondern über Lagerböcke, die am Segmentverschluß aufsitzen.

Neu ist hier der Entfall der mit dem Segment fest verbundenen stählernen Klappen-Dichtungsschleifflächen, die im vorliegenden Fall direkt in den Wehrpfeiler einbetoniert werden. Dadurch wird eine wesentliche Vereinfachung der Werkstattarbeit erzielt. Für die Wasserabfuhr über die Klappe steht die volle Wehrfeldbreite zur Verfügung. Durch diese Bauweise läßt sich auch eine wesentliche Gewichtsersparnis beim Segmentverschluß und damit auch eine Ersparnis an Windwerkskosten erzielen.

Wie beim KW Altenmarkt sind auch hier stählerne Abstützböcke für die Einleitung der Auflagerkräfte des Segmentdrehgelenkes vorhanden. Diese Abstützböcke sind jedoch nur senkrecht zur Pfeilerrichtung mit dem Wehrpfeiler durch vorgespannte Anker verbunden, während sich die Böcke in Pfeilerrichtung direkt gegen eine vorgespannte Wehrpfeilerkonstruktion abstützen. Die Montage des Wehrverschlusses wird dadurch vereinfacht.

Wie beim KW Altenmarkt werden auch hier einfache Kettenwindwerke verwendet.

Kraftwerk Landl. Die Konstruktion ist die gleiche wie bei Krippau; die Einleitung der Auflagerkraft des Drehgelenkes in den Wehrpfeiler erfolgt hier in der üblichen Bauweise unter Verwendung eines stählernen Auflagerträgers, der mit vorgespannten Ankern, die über die gesamte Pfeilerlänge durchgehen, mit



Bild 11: Klappensegmentwehr des KW St. Pantaleon

Fig. 11: Power station "St. Pantaleon", radial gates with flaps

dem Wehrpfeiler verbunden wird. Die Anordnung von stählernen Abstützböcken hätte bei der geringen Pfeilerbreite keine Vorteile gebracht.

Kraftwerk St. Pantaleon – Bild 11 – Diese Klappensegmentverschlüsse unterscheiden sich von den bisher beschriebenen Anlagen durch die Anordnung von getrennten hydraulischen Antrieben für Klappe und Segment, wodurch sich auch in konstruktiver Hinsicht andere Aufgaben ergeben.

Der Segmentverschluß ist wie früher ein kastenförmiger Hohlkörper. Er hat hier jedoch auch die Aufgabe, als mechanische Verbindungswelle zwischen den beiden seitlich an den Wehrpfeilern auf der Unterwasserseite des Verschlusses angeordneten

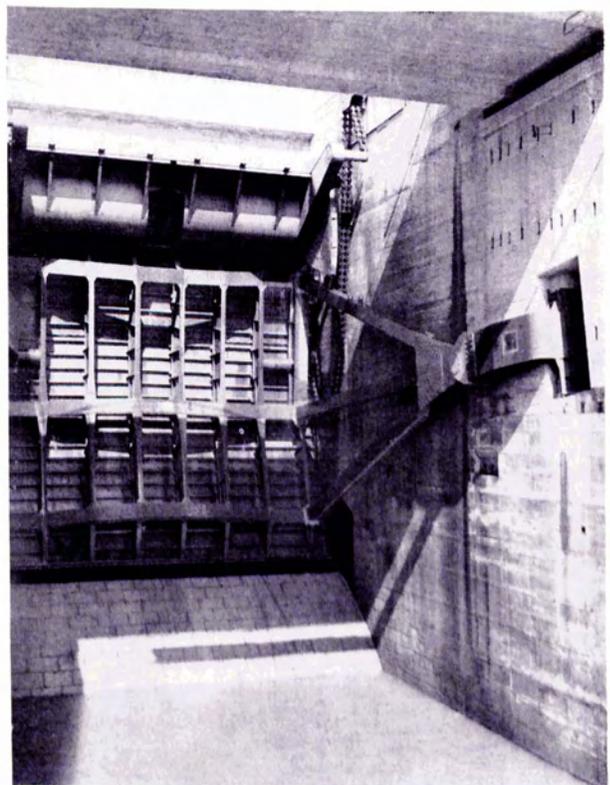


Bild 12: KW Edling, Klappensegmentverschluß

Fig. 12: Power station "Edling", gate with flap

hydraulischen Hubzylindern zur Betätigung des Segmentverschlusses zu wirken. Dadurch wird der notwendige Gleichlauf erzwungen.

Die Stauklappe ist hier als Hohlkörperkonstruktion ausgebildet, da sie infolge des hydraulischen Antriebes in Wehrfeldmitte große Torsionsmomente zu übernehmen hat. Die seitlichen Dichtungen der Überfallklappen müssen hier wieder an stählernen, mit dem Segmentverschluß fest verbundenen Seitenschildern gleiten, da sonst – wäre die Anordnung wie beim Kraftwerk Krippau – die hydraulischen Hubzylinder des Segmentverschlusses in den Strömungsbereich der Überfallklappen kämen. Die Auflagerung des Segmentdrehlagers erfolgt hier über stählerne Auflagerträger, die mit Vorspannkernern mit dem Wehrpfeiler verbunden sind.

Aus der vorstehenden Beschreibung der verschiedenen an der Enns gebauten oder derzeit in Bau befindlichen Klappensegmentwehre ergibt sich, daß die Klappensegmentverschlüsse an der oberen und unteren Enns wesentlich verschieden sind. Während zuletzt an der oberen Enns Verschlüsse mit in den Pfeilern einbetoniertem Seitenschild mit nur einem Kettenwindwerk für Klappe und Segment gebaut wurden, zeigen die Klappensegmentwehre an der unteren Enns voneinander getrennte hydraulische Antriebe, die eine mit dem Segmentschütz fest verbundene Seitenschildkonstruktion bedingen. Die aus der Tabelle ersichtlichen Gewichtsunterschiede pro m^2 -Verschlußfläche ergeben sich aus diesen Konstruktionsmerkmalen. Die in Anlehnung an die Rheinkraftwerke Säcking, Schaffhausen und Reichenau gebauten Klappensegmente der Kraftwerke St. Pantaleon und Garsten mit hydraulischen Antrieben sind zweifellos aufwendiger als die an der oberen Enns gebauten Verschlüsse mit einfachen Kettenwindwerken. Der höhere Aufwand ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn aus betrieblichen Gründen eine voneinander unabhängige Bewegung von Klappe und Segment erforderlich ist. Da es ohne weiteres möglich ist, molykote-behandelte Laschenkettens zu erzeugen, die ohne wesentlichen Verschleiß unter Vollast 5000 Flexuren erreichen, ist die Wahl eines hydraulischen Antriebes mit Rücksicht auf den zu erwartenden Kettenverschleiß nicht begründet. Wird angenommen, daß die einzelnen Bolzen der Kette maximal 200mal pro Jahr über das Kettenritzel laufen, kann man damit rechnen, daß die Laschenkettens rund 25 Jahre in Betrieb sein können, bis eine neuerliche Molykotebehandlung erforderlich wird. Die Entscheidung, ob für Klappensegmentverschlüsse hydraulische oder mechanische Antriebe mit Ketten Verwendung finden sollen, kann nur auf Grund der gegebenen Betriebsbedingungen getroffen werden. Grundsätzlich ist das Klappensegmentschütz dem Doppelhakenschütz in wirtschaftlicher und zum Teil auch in betrieblicher Hinsicht überlegen. Unter den Klappensegmentschützen ist jedenfalls der mit einfachen Kettenwindwerken angetriebene Verschluß wirtschaftlicher als das hydraulisch angetriebene System.

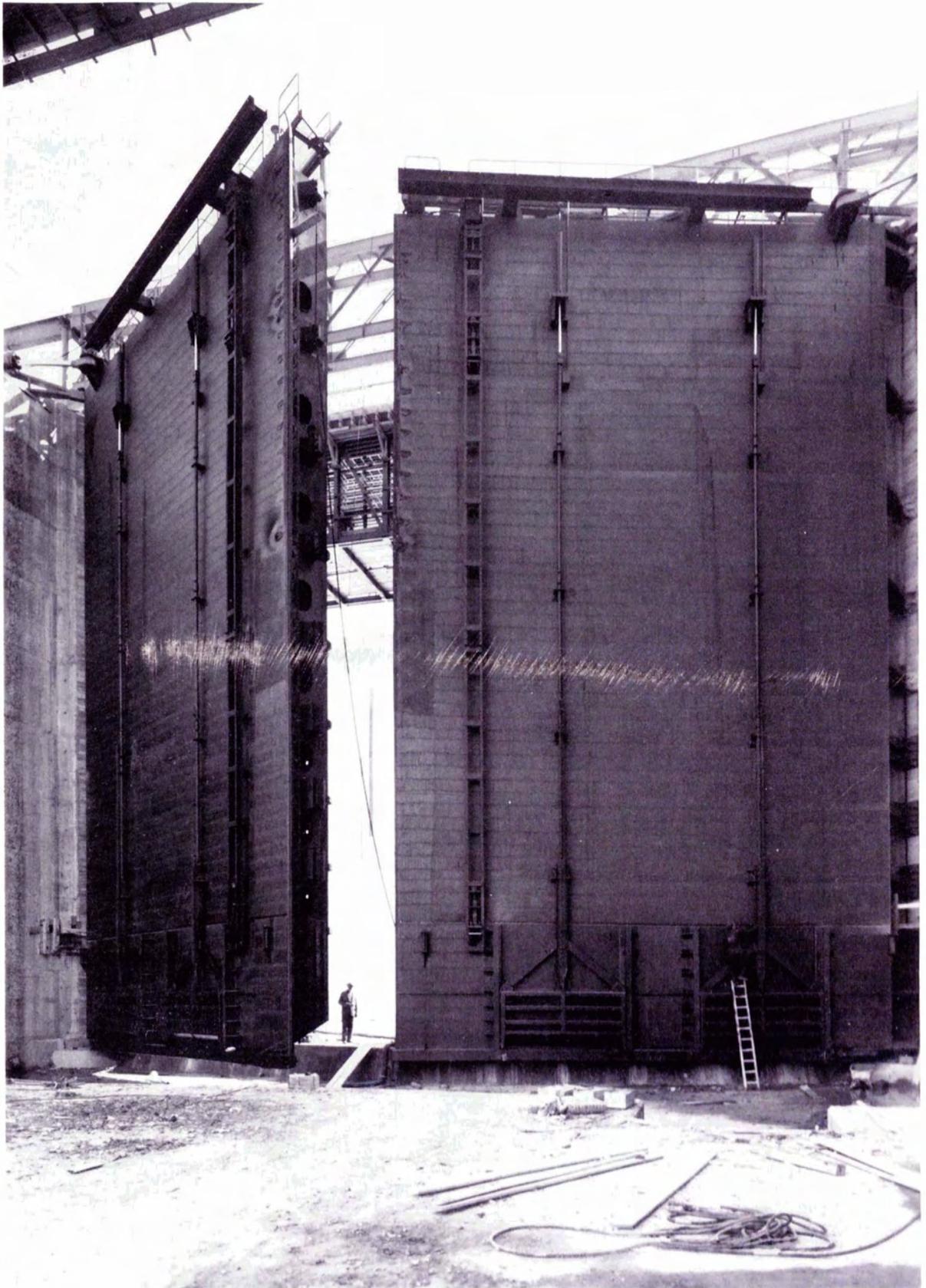
Die Klappensegmentwehre des Kraftwerkes Edling an der Drau gehören zu den größten bisher gebauten Verschlüssen dieser Art (Bild 12). Die lichte Verschlußweite beträgt 15,0 m, die Verschlußhöhe 17,0 m, die Höhe der Überfallklappe 3,50 m. Für die Einleitung der großen Auflagerkräfte von 1250 t im Segmentdrehlager wurden hier zum erstenmal die vorstehend erwähnten stählernen Auflagerkonsolen verwendet, die durch Vorspannkonstruktion mit dem Wehrpfeiler verbunden wurden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß sich am Inn und an der Donau die Doppelhakenschütze behauptet haben, während an der Enns und an der Drau die Klappensegmente die Doppelhakenschütze verdrängen konnten. Die Ursache dieser verschiedenen Entwicklungen liegt zum Teil in den verschiedenen Betriebsbedingungen, zum Teil jedoch auch in den verschiedenen Auffassungen der mit der Projektierung befaßten Stellen. Zweifellos ist die Bevorzugung der Doppelhakenschütze an der Donau darauf zurückzuführen, daß sie sich jahrzehntelang im Betrieb bewährt haben. Die Segmentverschlüsse weisen jedoch so viele Vorteile auf, daß ihre Verwendung auch an der Donau möglich erscheint.

Bezüglich der Windwerksausbildung hat sich am Inn und an der Donau das vollkommen geschlossene Windwerk durchgesetzt, während an der Enns und an der Drau mit offenen Getrieben bisher das Auslangen gefunden wurde. Daraus geht hervor, daß beide Ausführungen einen einwandfreien Betrieb gewährleisten.

Die sehr wirtschaftliche, reduzierte elektrische Welle am Inn hat nur bei Edling an der Drau weitere Verwendung gefunden. An der Donau, wo die Betriebsbedingungen naturgemäß härter sind als an den übrigen österreichischen Flüssen, hat sich die klassische elektrische Welle mit Überlastschutz bewährt. Die sogenannte Arbeitswelle, die für die Antriebe der Wehrverschlüsse von Losenstein an der Enns gebaut wurde, ist zwar technisch interessant, da sie eine sehr gute Momentenbegrenzung bietet, sie ist aber so unwirtschaftlich, daß sie nur einmal verwendet wurde. An der oberen Enns stehen die Kettenwindwerke den hydraulischen Antrieben an der unteren Enns gegenüber. Beide Antriebe haben sich voll bewährt. Die betrieblichen Erfordernisse und die Wirtschaftlichkeit werden von Fall zu Fall die Entscheidung für das eine oder andere System bringen.

Dipl.-Ing. Alfred Liebl,
Oberingenieur der VOEST, Linz/D.



Stemmtore der Schleusen im Kraftwerk Aschach (Werkphoto Waagner Biro)

Stahlwasserbau in Mitteleuropa und in Großraumgebieten — Charakteristische Unterschiede

Von R. Heckel, Wien

Der Ausbau der Wasserkräfte hängt nicht nur von den topographischen und geologischen Verhältnissen und vom Abfluregime ab, sondern sehr stark auch von der Besiedlungsdichte und von der Zivilisation, das heißt, von dem Ausmaß, in dem die Täler durch Kunstbauten, Verkehrslinien usw. verbaut sind.

Im Bild 1 sind im gleichen Maßstab die Stufenpläne für den Ausbau von 3 Flüssen dargestellt, die in Normalwassermenge und Gefälle zumindest größenordnungsmäßig ähnlich sind.

Da ist links zunächst die österreichische Donau. Einschließlich der Grenzkraftwerke sind hier 15 Stufen vorgesehen, mit einer installierten Leistung von jeweils etwa 100–250 MW; die durchschnittliche Staulänge beträgt etwa 25 km, die Stauhöhe im Mittel 12 m. Für unsere Möglichkeiten sind das sehr große Kraftwerke. Aschach ist immerhin das Wasserkraftwerk mit der größten Jahresproduktion im gesamten deutschen Sprachraum. Der Columbia River in den USA ist ausgebaut in Stufen, die zwischen 500 und 2700 MW Leistung installiert haben. Die Fallhöhen betragen 25 bis 100 m und die Stauseen sind entsprechend groß — 100 bis 250 km lang —, wie dies im vergleichsweise außerordentlich dünn besiedelten Nordwesten Amerikas möglich ist. Immerhin hatte man sich hier aber schon mit Interventionen der verschiedensten Interessengruppen auseinanderzusetzen. Der Ausbau der Angara in Sibirien schließlich wird durchgeführt in Stufen von 4000 bis 4500 MW mit je ca. 100 m Fallhöhe, das ergibt Stauseen von 500 bis 600 km Länge. Solche Riesenstauseen sind natürlich nur möglich im fast vollkommen menschenleeren sibirischen Raum. Der Wasserbau konnte hier vollkommen frei disponieren. Nur im obersten Teilstück hat man auf die Stadt

Irkutsk und die hier ankommenden Verkehrslinien, Transsibirische Bahn usw. Rücksicht nehmen müssen.

Im Ausbau des Columbia und der Angara, die zum Vergleich hier angeführt sind, sind gewisse Superlative enthalten. Grand Coulee am Oberen Columbia war lange Zeit das größte Kraftwerk der Welt. Heute ist es Bratsk. Trotzdem sind auch diese beiden Anlagen keine Extreme, sondern nur gerade die Größtausführungen eines weithin angewandten Typs, wie Aschach die größte Donaustufe ist. Das zeigt sich schon daran, daß Grand Coulee in den letzten Jahren auch auf der westlichen Hemisphäre mehrfach übertroffen worden ist, und an der Angara ist Bratsk nur der Prototyp für die folgenden Stufen.

Beim Vergleich dieser Stufenpläne leuchtet es nun ein, daß die Relativkosten des Baues und der Kraftmaschinen verhältnismäßig billig werden, wenn eine Konzentration in große Mitteldruckstufen möglich ist. So waren die Kosten des am Columbia River erzeugten Stromes zumindest zur Bauzeit weniger als die Hälfte der Kosten des kalorisch erzeugten Stromes.

Bei uns ist es aber nicht möglich, ja geradezu undenkbar, ganze Täler 50 oder 100 m hoch über mehrere hundert Kilometer Länge einzustauen. Bei uns kommen für die Wasserkrafterzeugung daher eigentlich nur ihre beiden Extreme in Frage: Laufwerke mit relativ wenig Fallhöhe und Hochdruckanlagen mit vergleichsweise wenig Wasser.

Wir müssen uns bewußt sein, daß der Wasserkraftausbau bei uns vergleichsweise sehr schwierige Verhältnisse vorfindet. Daher kann man mit Sicherheit behaupten, daß der bei uns mögliche Ausbau ein echtes Vielfaches an Ingenieurarbeit erfordert. Aber er ist doch ein Sonderfall, wenn wir

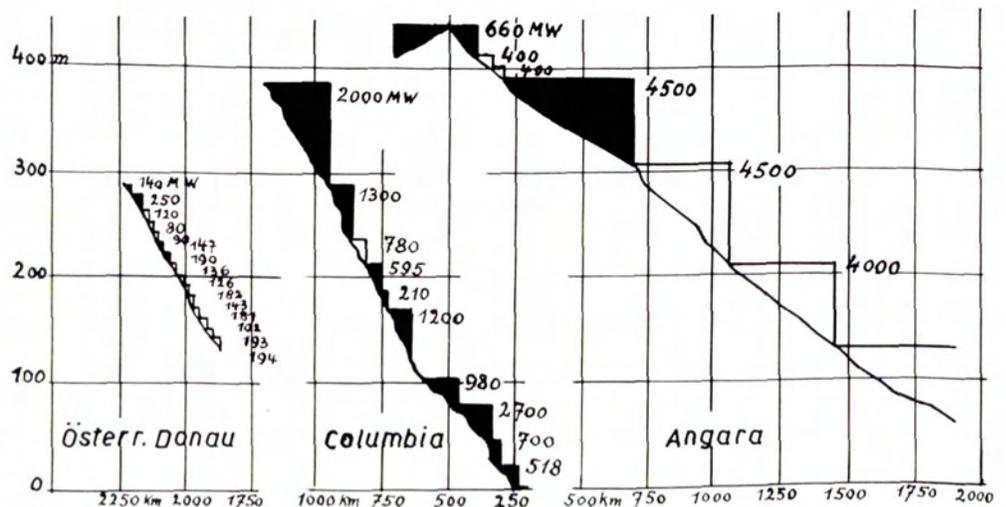


Bild 1: Stufenplan der österreichischen Donau, des Columbian River und der Angara

Fig. 1: Layout showing the schemes of the Austrian section of river Danube, of rivers Columbia and Angara

die gesamte hydraulische Energieerzeugung auf der Welt betrachten. Denn zirka drei Viertel der gesamten Wasserkraftenergie der Welt werden heute in großen Mitteldruckkraftwerken erzeugt, für die etwa der Columbia oder die Angara charakteristisch sind.

Auch der auffallende Unterschied im Stahlwasserbau zwischen Mitteleuropa und den Großräumen der Welt besteht daher im Prinzip nicht etwa im Unterschied zwischen der amerikanischen oder der russischen und unserer Technik, sondern in den wesentlich anderen Forderungen, die bei diesem anderen Kraftwerkstyp an die Verschlüsse gestellt werden.

Bild 2 zeigt Chief Joseph am Columbia, eine Anlage, die man etwa als Normaltyp eines solchen Großkraftwerkes bezeichnen kann. Die Fallhöhe beträgt zirka 50 m, die installierte Leistung über 1 Mill. kW, das entspricht mehr als 5 Donaustrufen. Die Anlage ist also groß, aber sie ist sehr einfach gebaut: Am linken Ufer der Kraftwerksblock und die freiliegenden Turbinenrohrleitungen, am rechten Ufer die Hochwasserentlastung, ausgelegt für 60 000 m³/sek., das ist etwa viermal das Katastrophenhochwasser unserer Donau.

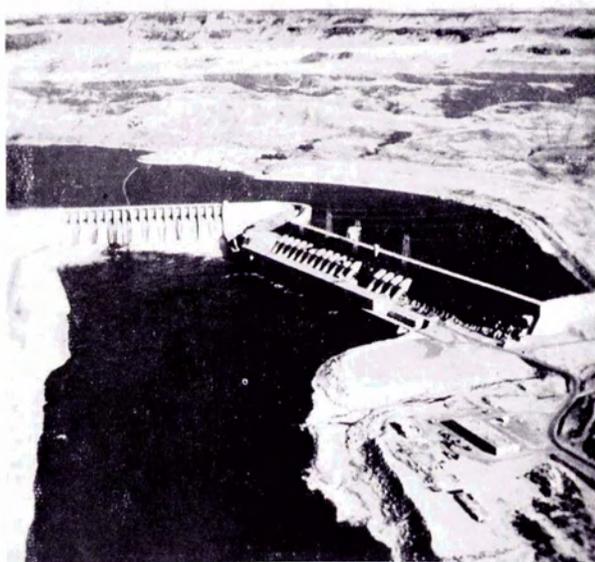


Bild 2: Kraftwerk Chief Joseph

Fig. 2: Power station Chief Joseph

Die Verschlüsse einer solchen Hochwasserentlastung sind in Wirklichkeit nicht so klein, wie sie auf der Gesamtansicht aussehen. Beim Columbia-Kraftwerk McNary sind es zum Beispiel 22 Rollschützen von je 15 × 16 m (Bild 3), das sind, um eine Größenordnung zu geben, zirka 3500 t Stahlkonstruktion. Etwa ebensoviel an Stahlwasserbau ist im Krafthaus installiert; insgesamt sind es also etwa 500 t Stahlwasserbau je 100 installierte MW. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Kraftwerkes kehrt sich also hier auch gegen unsere Erzeugnisse, denn wir



Bild 3: Verschlüsse des Kraftwerkes McNary

Fig. 3: Gates of power station McNary

können bei unseren Laufwerken mindestens mit dem doppelten Stahlverbrauch für die gleiche installierte Leistung rechnen (auch ohne Berücksichtigung der Schleusen).

Im Prinzip gar nicht anders gebaut ist nun das sibirische Großkraftwerk Bratsk (Bild 4), mit 100 m Fallhöhe und mit 4500 MW das derzeit leistungsstärkste Kraftwerk der Welt. Es handelt sich wieder um eine gerade Betongewichtsmauer (mit Sparöffnungen), knapp 1000 m lang. An ihrem Fuß liegt das Krafthaus mit 20 Francis-turbinen von je 225 MW. In jeder dieser Maschinen steckt also ungefähr die Leistung eines ganzen Donaukraftwerkes. Die Turbinen sind dabei infolge der Fallhöhe und der höheren Drehzahl auch noch nicht einmal abnormal groß in ihren Abmessungen (Rotordurchmesser 5,6 m). Es sind eben diese Mitteldruck-Francis-Turbinen, welche die leistungsfähigsten Wasserkraftmaschinen der Welt überhaupt darstellen. Die Einrichtungen für die Hochwasserabfuhr sind hier dafür abnormal klein: Auf der Sperrenkrone 10 Segmente 18 × 6 m, dazu kommen noch 10 Grundablässe 3 × 10 m. Dieser Überfall leistet also nur 5000 m³/sek. gegenüber den 60 000 am Columbia. Denn der Abfluß der Angara ist außerordentlich gleichmäßig, weil der 680 km lange Baikalsee ein riesiges Ausgleichsbecken dar-

Bild 4: Kraftwerk Bratsk, Sibirien

Fig. 4: Power station Bratsk, Sibiria



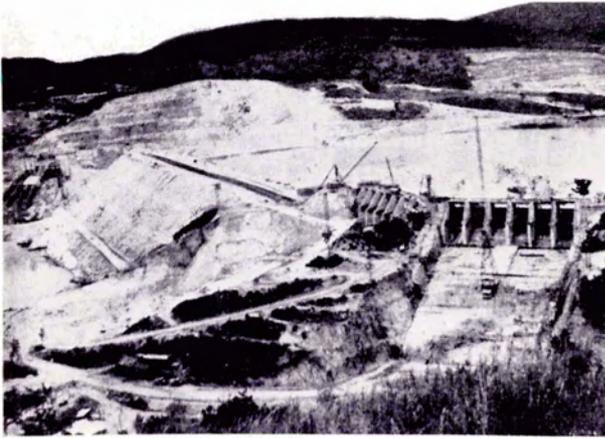


Bild 5: Volta-Kraftwerk Akosombo

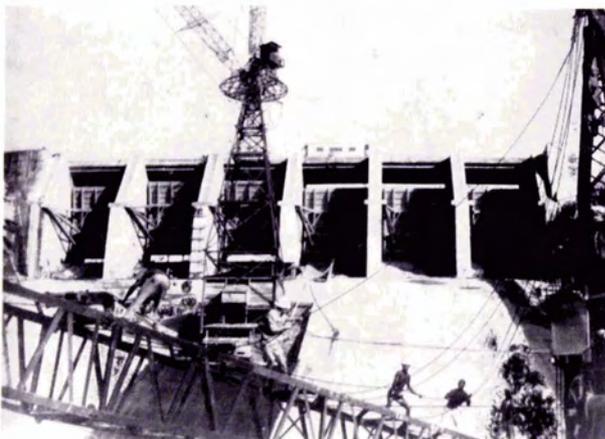
Fig. 5: Volta power station Akosombo

stellt. Der Grundtyp des großen Mitteldruck-Talsperrenkraftwerkes unterliegt natürlich den mannigfaltigen Variationen durch Geländeform und Geologie der Baustelle. Im folgenden werden noch einige Beispiele gezeigt, wobei immer gleich auf die Anordnung der Schützen zur Hochwasserabfuhr hingewiesen wird; diese sind es ja zunächst, die den Stahlwasserbau interessieren.

Bild 5 zeigt die Gesamtansicht des Voltakraftwerkes in Ghana, eine Anlage übrigens, die der wirtschaftlichen und sozialen Struktur eines afrikanischen Landes vielleicht einen noch größeren Impuls geben wird als selbst Kariba am Sambesi oder der Assuan-Hochdamm am Nil. Hier ist die Sperre ein Felsbrocken-Schüttdamm, wie er in der letzten Zeit immer häufiger zur Anwendung kommt. Bei diesen Schüttdämmen muß dann für das Kraftwerk und die Schützen entweder eine Sektion als Betongewichtsmauer gebaut werden – das geschieht meist dann, wenn es sich um lange Dämme handelt, die flache Becken abschließen – oder es wird wie hier das Kraftwerk auf einem Ufer in den Fels gebaut, während die Hochwasserentlastung in zwei Überfalls-

Bild 6: Segmentschützen des Volta Dammes

Fig. 6: Radial gates of the Volta Dam



rinnen in den Hügeln am linken Ufer angeordnet ist. Der Volta hat als tropischer Fluß bedeutende Hochwasserspitzen, die außerdem auch schon während der Bauzeit die Vorhersagen übertroffen haben. Beide Überfälle können hier 15 000 m³/sek. abführen, das ist etwa das maximale Katastrophenhochwasser unserer Donau.

Als Verschlussorgane auf der Krone solcher Sperren finden wir heutzutage vorzugsweise große Segmentschützen. Auch hier am Volta sind zwei Gruppen von je sechs Segmenten vorgesehen, Größe 12×13 m (Bild 6). Hier beschäftigt den Planer aber nicht wie bei uns die Frage, ob diese Schützen durch mechanische oder durch hydraulische Antriebe betätigt werden sollen, sondern für je sechs

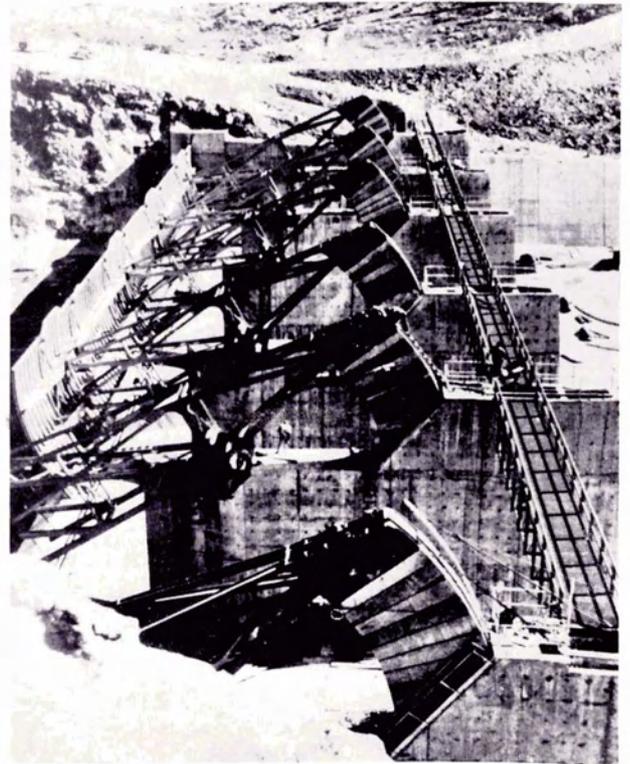


Bild 7: Hochwasserentlastung am Horse Shoe Dam

Fig. 7: Spillway section of the Horse Shoe Dam

Schützen ist hier überhaupt nur ein gemeinsames fahrbares Windwerk angeordnet. Die Schützen werden mittels einfacher Ankerketten nacheinander in die gewünschte Lage gezogen und dort verriegelt. Diese Bedienungsart ist umständlich und zeitaufwendig, aber das spielt dort gar keine Rolle, denn der Volta-Stausee ist über 400 km lang, das heißt, er würde auf der Donau von Linz bis über Ulm hinaus reichen. Seine Oberfläche ist 50mal größer als die des Bodensees. Bis die Hochwasserwelle hier wirksam wird, hat man sehr viel Zeit zur Schützenbedienung. Man sieht hier, wie sehr die zunehmende absolute Größe die technischen Probleme manchmal vereinfacht.

Mosel verwendet wurde, aber teurer. Grand Coulee hat 11 solche Drum Gates, je zirka 60 m lang, denn da sie scharnierartig gelagert sind, werden die Kräfte bei einem solchen Verschuß ohnehin stetig in die Mauer eingeleitet.

Eine eigenartige Lösung zeigt Bild 7, die Hochwasserentlastung am Horse Shoe Dam. Man verfügte hier über wenig Platz in der Breite, daher sind hier die Schützen dicht an dicht angeordnet, die Pfeiler sind zurückgesetzt und liegen schon im schießenden Abfluß. Die Pfeilerbreite und die Einschnürung beeinflussen also die Durchflußmenge nicht und man kann die volle Überfallbreite ausnützen. Diese Schützen sind übrigens hydraulisch gesteuert, daher die auffälligen Gegengewichte.

Noch mehr Platz gewinnt man natürlich, wenn man die Schützen nicht auf der Sperrkrone, sondern tiefer anordnet, weil sich dann die Durchflußgeschwindigkeit erheblich erhöht (Bild 8). Die hydraulischen Probleme sind dafür hier natürlich schon schwieriger. Sie liegen vor allem auch in der Ausbildung der Kopfdichtung, die sicheres Arbeiten in halboffener Stellung gewährleisten muß. Man hat dafür natürlich betrieblich größere Möglichkeiten und kann das Stauziel weit absenken.

Bild 9 zeigt den Hoover Dam. Hier ist ganz wenig Platz für die Hochwasserabfuhr. Die Sperre ist 220 m hoch und erst in den letzten Jahren, in Indien und in der Schweiz, an Höhe übertroffen worden. Beim Anblick einer solchen Sperre denken wir unwillkürlich an ein Hochdruck-Speicherkraftwerk zur Dekkung von Lastspitzen. Darum handelt es sich hier aber keineswegs. Es ist dies einfach eine Stufe des Colorado-Ausbaues und natürlich wieder ein Mitteldruck-Großkraftwerk (1200 MW). Der Stausee ist 170 Kilometer lang und noch immer der größte Amerikas. Die Hochwasserabfuhr erfolgt durch zwei gewaltige Rohre von je 7 m Durchmesser beiderseits im Fels. Der Einlauf in diese Rohre ist eine Art Streichwehr, ebenfalls durch Drum Gates abgeschlossen. Auch diese Anordnung ist mehrfach nachgeahmt worden, wenn bei einer Sperre in einem ähnlichen Canon die Hochwasserabfuhr über der Mauer keinen Platz fand, zum Beispiel beim Dez Dam im Iran.

Nun noch einige Anlagen zur Hochwasserabfuhr, die in der Sowjetunion errichtet wurden: Das Katastrophenhochwasser der mittleren und unteren Wolga beträgt 60 000 m³/sek. Beim Kraftwerk Wolgograd (ehemals Stalingrad) wird davon ein Viertel durch die Turbinen und ein Viertel durch Grundablässe abgeführt, die weiteren 30 000 m³/sek. durch ein 700 m langes Wehr. Es besteht aus 22 Rollschützen 20 × 9 m, aber wieder hat keine einzige ein eigenes Windwerk. Alle Schützen werden durch fahrbare Portalkrane von 270 t Hubkraft nacheinander bedient.

Bild 10 zeigt die Hubmittel, das sind Lochstangen, mit Hilfe derer die Schützen in verschiedenen Zwischenstellungen verriegelt werden können. Diese erstaunliche Primitivität der Wehrverschlüsse ist wieder nur aus dem gigantischen Maßstab des Gesamtausbaues erklärlich. Denn die Wolga wird in je zirka 400 km langen Stufen ausgebaut – Stalin-



Bild 9: Hoover Dam, Colorado

Fig. 9: Hoover Dam, Colorado

grad, Saratow, Kuibyschew usw. – und dann soll in diese Kraftwerkskette vom Norden noch ein Teil der Petschora eingeleitet werden, die jetzt in das Eismeer fließt. Mit etwa derselben Stufenzahl, die die Donau von Ybbs bis Passau vorsehen muß, reicht hier der Ausbau durch ganz Europa hindurch, und zwar dort, wo es am breitesten ist. Aber diese riesigen Stauseen vereinfachen wesentlich alle Pro-

Bild 10: Hubstangen der Wehrschützen des Kraftwerkes Wolgograd

Fig. 10: Lifting rods of the weir gates in power station Wolgograd

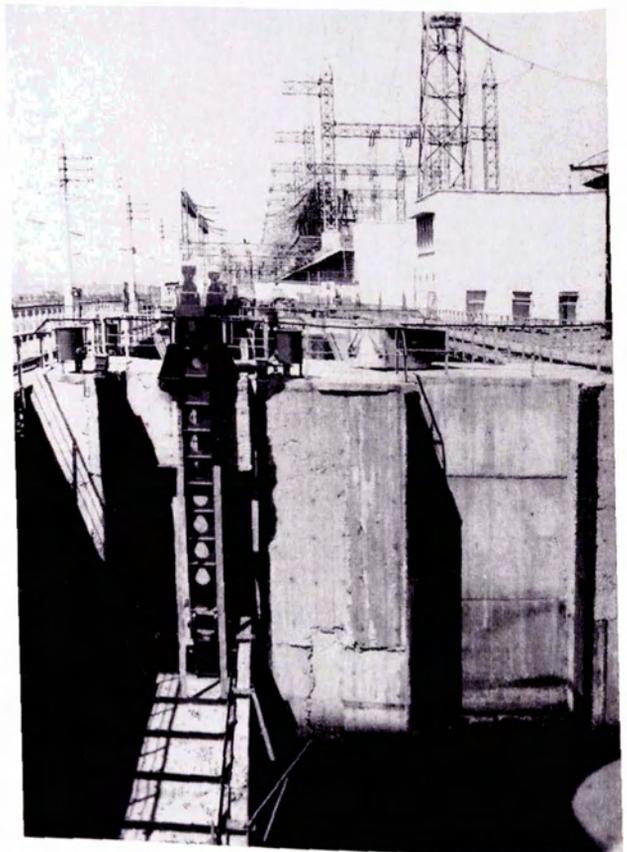




Bild 11: Wehr in Nordschweden

Fig. 11: Weir in North Sweden

bleme, die mit der Abflußregelung zusammenhängen, und damit auch den Stahlwasserbau. Hier gibt es keine Schwall- und Sunkprobleme, Schnellabsenkung und dergleichen, sondern es genügen überall einfache einteilige Schützentafeln, die nicht einmal eigene Windwerke haben.

Nur einen neuen Gedanken haben die Russen zur Hochwasserabfuhr entwickelt und mehrfach gebaut: Man führt das Hochwasser durch den Turbinenblock und läßt es über dem Saugrohr austreten; damit erzielt man eine Düsenwirkung und eine Steigerung des Wirkungsgrades, die gerade bei Hochwasser wünschenswert ist, wenn der hohe Unterwasserstand die Turbinenleistung absinken läßt. Allerdings ist diese Bauweise in der letzten Zeit wieder verlassen worden; der Erfolg lohnt offensichtlich nicht den baulichen Aufwand, das heißt, das schwierige Durchführen von solchen Kanälen durch den an sich schon komplizierten Turbinenblock.

Die für die Hochwasserabfuhr bei solchen Großraumkraftwerken verwendeten Verschlüsse, so verschiedenartig sie auch sind, haben eines gemeinsam: Es sind immer einteilige Verschlüsse, auch wenn sie 20 m hoch sind. Im Gegensatz dazu müssen auch bei kleinen Wehren in Mitteleuropa fast immer Doppelverschlüsse angewendet werden, das heißt, ein Teil des Verschlusses muß absenkbar sein, um die Abfuhr von Schwemmzeug und Treibeis zu gestatten. Diese Verschlusstypen sind auch alle bei uns in Mitteleuropa erfunden und entwickelt worden: Die klassischen Hakendoppelschützen, Rollschützen mit Aufsatzklappen, Segmente mit Aufsatzklappen. Das Segment wurde eigentlich erst in den letzten beiden Jahrzehnten aus Übersee übernommen, es mußte aber in fast jedem Verwendungsfall bei uns mit einer Aufsatzklappe ausgestattet werden, um unseren hohen betrieblichen Anforderungen entsprechen zu können.

Man könnte allerdings die Frage aufwerfen, ob solche zweiteiligen Verschlüsse, die ja ursprünglich für ganz bestimmte Verhältnisse entwickelt und sehr ausgereift worden sind, nun wirklich auch immer und überall beibehalten werden müssen. Ein Segmentverschluß mit Aufsatzklappe – ölhdraulisch angetrieben, wie jetzt vorwiegend verwendet – leistet sehr viel. Er kann überströmt und unterströmt werden oder sogar beides gleichzeitig – vom Betriebsstandpunkt sicher eine optimale Lösung. Die Frage ist nur, ob man statt einem Wehr mit drei oder vier solchen Feldern nicht manchmal auch etwas Einfacheres bauen könnte.

Als Beispiel dafür, daß es Alternativen gibt, wenn man nicht zu sehr der Gewohnheit folgt, sei hier das Bild eines schwedischen Wehres gezeigt (Bild 11). Für die Abfuhr von Eis und Treibholz – beides sehr wichtige Funktionen auch in Skandinavien – ist ein Feld mit einer absenkbaren Sektorschütze ausgestattet, für die volle HW-Abfuhr sind weitere Felder mit einteiligen Segmentschützen vorgesehen. Hier

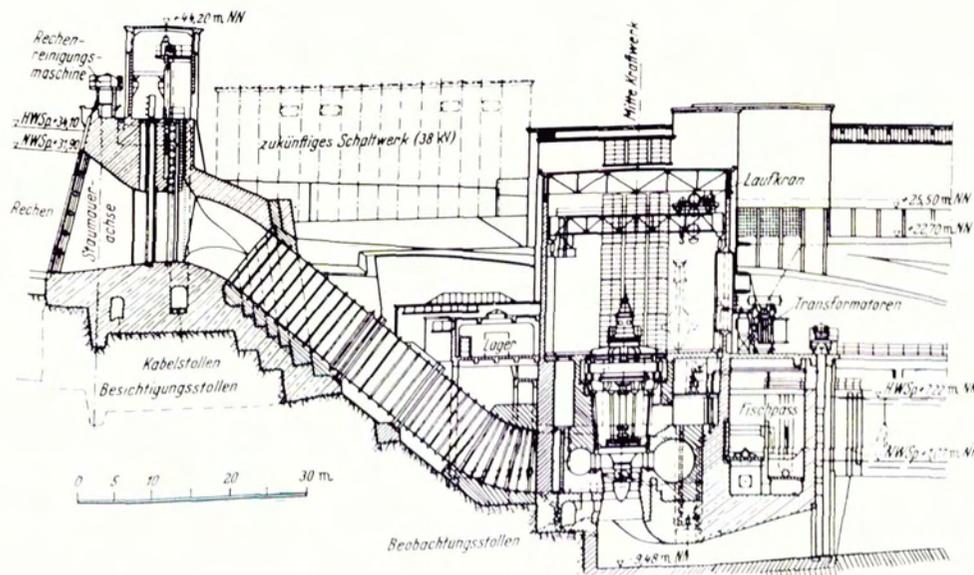


Bild 12: Schnitt durch das Kraftwerk einer Mitteldruckanlage

Fig. 12: Sectional view of the power station of a hydro-electric plant of moderate head

hat man also das Problem durch Arbeitsteilung gelöst und man hat sich damit Doppelverschlüsse in allen Feldern erspart. Die Lösung hat natürlich den Nachteil, daß zum Beispiel im Falle einer Störung an der Sektorschütze kein weiterer absenkbarer Verschuß zur Verfügung steht. Die Windwerke dieser Anlage sind wegen der rauen Betriebsverhältnisse in Skandinavien nicht mit Ketten, sondern mit sehr robusten Zahnstangenantrieben versehen, die es gestatten, den Verschuß beim Absenken auch gegen Eis und Schwemmzeug hinunterzudrücken. Diese sehr rauen Verhältnisse sind es ja auch, die komplizierte Doppelverschlüsse dort nicht wünschenswert erscheinen lassen.

Nun zur Stahlwasserbauausrüstung der Kraftwerke selbst, die ja nach außenhin weniger in Erscheinung tritt: Bild 12 zeigt einen Schnitt durch ein typisches Mitteldruckkraftwerk und darin die wesentlichen Stahlwasserbauteile. Es handelt sich dabei um:

Die Rechen,
die Einlaufschützen,
die Turbinenrohrleitung (kein Stahlwasserbau im eigentlichen Sinne) und
die Saugrohrverschlüsse.

Wie die Wehre, stellen auch die Rechen bei Anlagen in Großraumgebieten meist weniger Probleme als bei uns. Zunächst spielen Druckverluste bei den größeren Fallhöhen viel weniger eine Rolle als bei unseren Niederdrucklaufwerken. Außerdem ist die Reinigung und das Freihalten der Rechen wesentlich leichter; denn die langen Stauseen lassen überhaupt weniger Schwemmzeug durch und dann liegt der Einlauf meist in mittlerer Höhe in einem tiefen Stausee. Oberflächentreibzeug, Eis usw. wird daher gar nicht zum Rechen hingezogen, während Senklinge und Wurzelstöcke, die bei uns oft so unangenehm werden, am Seegrund liegen bleiben. Die Rechenreinigungsmaschinen sind daher nach unseren Begriffen primitiv. So große wie in Ybbs und Aschach wird man außerhalb Österreichs selten sehen.

Halbkreisförmig vorgebaute Rechen sind die amerikanische Standardlösung. Das ergibt eine große Rechenfläche bei nur kleiner Einlauföffnung im Beton. Die Reinigung ist schon wegen der senkrechten Flächen schwierig. Man muß sich hauptsächlich auf die oben angeführten günstigen Verhältnisse verlassen. Im übrigen kann man aber jeweils ein Feld mit vollen Tafeln, die in einer zweiten Nische laufen, verschließen und die Rechenfelder zur Reparatur oder Reinigung ziehen.

Bild 9 zeigt auch die Rechentürme am Hoover Dam; sie sind ganz vorgelagert, damit die Struktur der Bogensperre nicht unterbrochen wird. Es handelt sich immerhin um fast 140 m hohe Türme. Bild 13 zeigt einen ähnlichen Einlafturm in Indien, noch im Trockenen, und man sieht deutlich, wie sich die Entwürfe gleichen. Es ist jedoch nicht nur der große Anteil Amerikas an finanzieller Hilfe und damit der Einfluß amerikanischer beratender Ingenieure, der in den Entwicklungsändern Bauformen ergibt, die denen in den USA ähneln, sondern es sind auch die ähnlichen Anlageverhältnisse in freien, noch wenig anderweitig verbauten Großräumen.

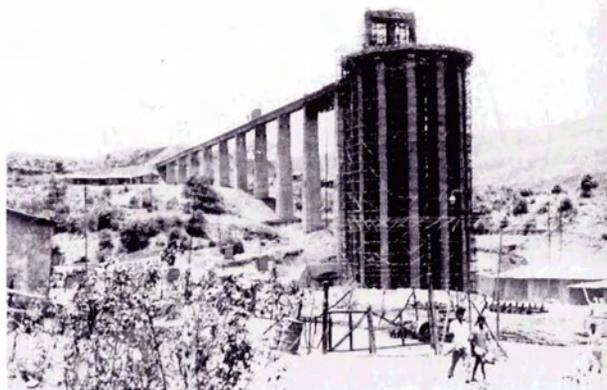


Bild 13: Einlafturm Koyna, Indien

Fig. 13: Intake Koyna, India

Eine eigenwillige Lösung der Rechenanordnung findet man bei den großen Wolga-Kraftwerken: Die Rechen sind hier als unabhängiger Bauteil zirka 60 m vor den eigentlichen Einlauf gesetzt (Bild 14). Dieses Rechenobjekt ist ganz unabhängig gegründet und hat einen eigenen Portalkran zum Auswechseln der Rechenfelder mit Reinigungsgerät und

Bild 14: Schnitt durch das Kraftwerk Wolgograd

Fig. 14: Sectional view through power station Wolgograd

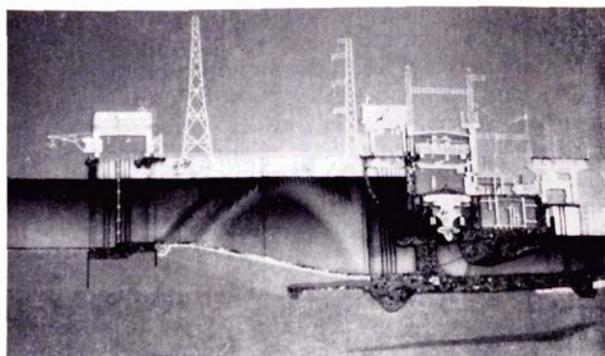
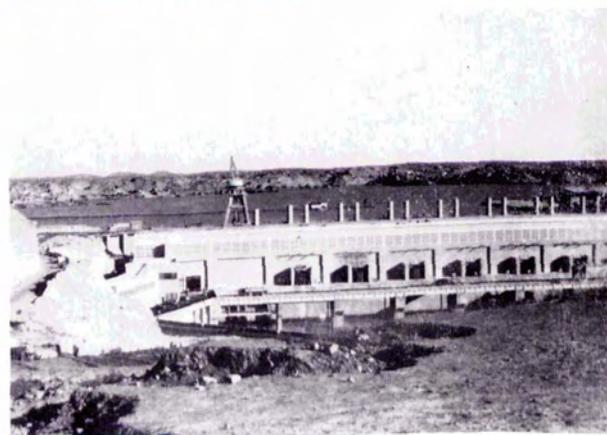


Bild 15: Umleitungskraftwerk Aswan

Fig. 15: Power station Aswan



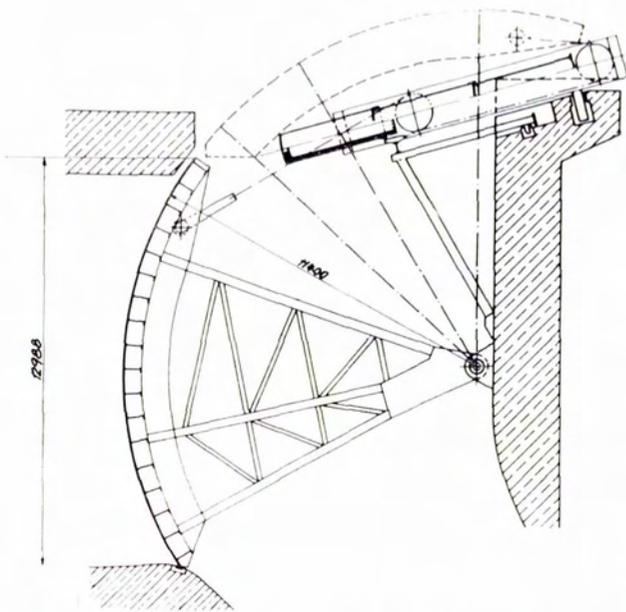
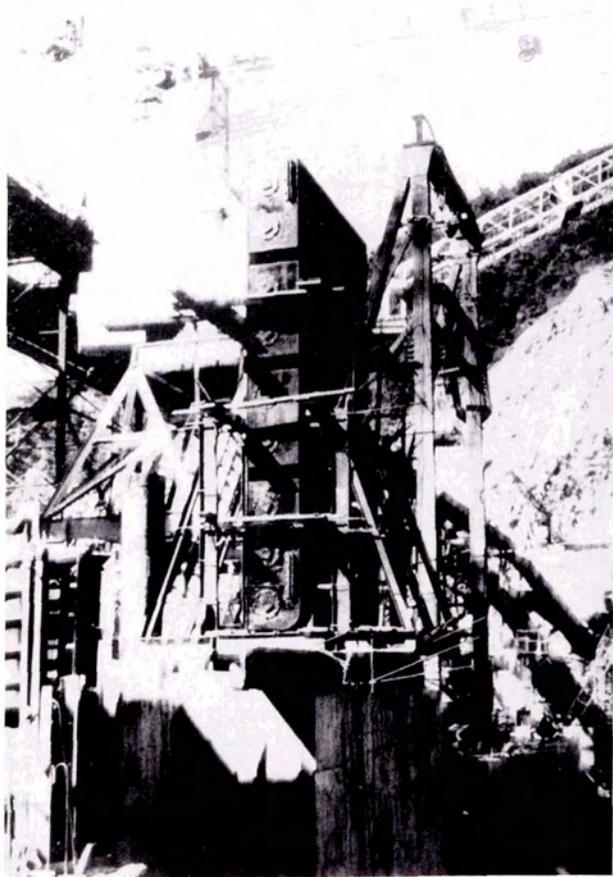


Bild 16: Teleskopservomotor als Antrieb einer Segment-schütze (Bjurfors)

Fig. 16: Telescopic servomotor operating a radial gate (Bjurfors)

Bild 17: Turbineneinlaufschütze Bhakra

Fig. 17: Turbine intake gates Bhakra



einem Greifer zum Räumen der Oberfläche. Dahinter ist eine große Vorbucht und dann kommt erst das Kraftwerk. Der Sinn dieser Anordnung liegt darin, daß das Verlegen einzelner Rechen oder Rechenzonen den Betrieb noch nicht behindert, weil sich die Anströmung in der Vorbucht auf die Turbineneinläufe verteilt. Es muß also nicht vor jeder der 22 Turbinen alles in Ordnung sein, sondern es genügt, die Front systematisch durchzureinigen.

Viele Probleme werden mit zunehmender Größe der Wasserkraftanlagen vereinfacht. Das gilt aber nicht mehr für die Verschlüsse vor den Turbinen. Bei Niederdrucklaufwerken kommt man hier im allgemeinen mit Dammbalken aus, die in ruhendem Wasser eingesetzt werden. Die Francis-Turbinen der Mitteldruckanlagen, aber auch die Kaplan-Turbinen größerer Fallhöhen, müssen jedoch durch schnellschlußfähige Notschützen gesichert werden, die auch gegen die Strömung schließen können.

Solche Schnellschlußschützen erreichen beachtliche Dimensionen. Sie haben Stückgewichte von über 100 t und haben bis zu 3000 t Wasserdruck aufzunehmen. Bei diesen Verschlüssen hat sich die Ölhydraulik im Stahlwasserbau als Antrieb eingebürgert. Sie ist für diesen Zweck ideal. Der Öldruckzylinder gibt verhältnismäßig billig große Aufzugskräfte. Er baut zwar sehr lange, aber das ist in einem Schützenschacht in der hohen Sperre gut unterzubringen. Das geforderte Absenken auch bei Ausfall der elektrischen Kraftversorgung wird durch bloßes Öffnen eines Ventils mittels Batteriestrom eingeleitet. Die Sinkgeschwindigkeit ist durch Blenden leicht einzustellen, und das Dämpfen der Bewegung vor dem Aufsetzen der Schütze ist ölhydraulisch viel leichter und verlässlicher zu beherrschen als mit elektro-mechanischen Mitteln.

Manchmal wird diese ölhydraulisch betätigte Schnellschlußschütze im Saugrohr der Turbinen angeordnet. Wenn die Schütze im Einlauf schließt, kommt während der Schließbewegung ja ein Wasser-Luft-Gemisch durch die Turbine und das kann zu unangenehmen Erscheinungen führen. Dieser Nachteil ist bei der Anordnung im Saugrohr vermieden, aber dafür entsteht in der Turbine eine Art Wasserschloßwirkung. Man kann diese Ausführung also nur bei kleineren Druckhöhen anwenden.

Bild 15 zeigt das Umleitungskraftwerk um den alten Aswan Dam (360 MW). Die Turbineneinläufe sind hier geteilt, und wir haben je zwei Schnellschlußschützen vor jeder Turbine. Man sieht die Öldruck-Servomotore auf der Dammkrone. Kaplan-Turbinen größerer Fallhöhe – hier sind es 32 m – stellen an die Schnellschlußschützen noch schärfere Forderungen als Francis-Turbinen. Die Francis-Turbinen verlangen im allgemeinen nur eine Schließzeit in der Größenordnung von 2 Minuten. Für die Kaplan-Turbinen in Aswan sind dagegen zum Beispiel 20 Sekunden gefordert, bei 24 m Fallweg der Schütze. Jetzt werden diese Forderungen manchmal sogar schon auf weniger als 10 Sekunden hochgeschraubt. Dann reicht der freie Fall für das Schließen gegen volle Durchströmung nicht mehr aus. Die Schützen müssen mit Preßluft sozusagen hinuntergeschossen werden.

Bild 18: Saugrohrschütze Aswan und Hubwerk

Fig. 18: Draft tube gate and crane, Aswan

Ein Oldruck-Servomotor in Teleskopausführung als Antrieb einer Segmentschütze in Schweden ist in Bild 16 dargestellt. Die Hubketten sind über Rollen am beweglichen Zylinder geführt. Das ergibt für die Schütze den doppelten Hubweg des Zylinders.

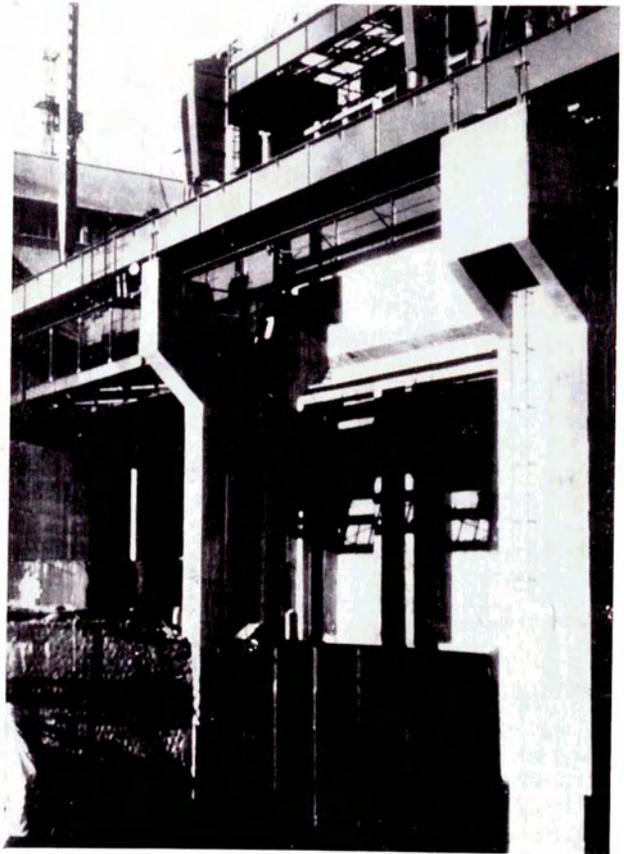
Als Beispiel für eine Schützentafel zeigt Bild 17 die in Montage befindliche Turbineneinlaufschütze Bhakra. Diese Schütze trägt fast 2000 t Wasserdruck, das ist etwa die gesamte Verkehrslast auf einer 200 m langen Autobahnbrücke. Das Eigengewicht ist dementsprechend hoch, es beträgt $2,5 \text{ t/m}^2$. Jede Laufrolle hat 185 t Raddruck aufzunehmen. Eine vollkommen statisch bestimmte Bauweise mit Laufrollen in Balanciers ist bei einer so gedrängten Bauweise nicht mehr möglich. Eine solche Schütze aus zirka 40 bis 50 mm starken Blechen stellt daher hohe Anforderungen an die Schweißtechnik und muß wie ein großer Maschinenteil mechanisch bearbeitet werden.

Zu erwähnen bleiben jetzt noch die letzten Verschlussorgane im Kraftwerk, die Saugrohrverschlüsse gegen die Unterwasserseite. Bild 18 zeigt eine solche Saugrohrschütze (Aswan; Abmessung zirka $20 \times 10 \text{ m}$) mit Hubwerk. Bei uns wählt man als Verschluss für solche Zwecke vornehmlich Dammbalken. Sie werden nacheinander eingesetzt und es genügt ein leichteres Hebezeug. Es ist charakteristisch für die geschilderten Großkraftwerke, daß man einteilige Verschlüsse, auch wenn sie sehr groß und schwer werden, den Dammbalken vorzieht. Man scheut das Aus- und Einklinken von Zangenbalken in größeren Wassertiefen. Im Falle einer Störung ist es oft schwierig, gute Taucher zu bekommen. Man nimmt daher eher ein großes Hubwerk in Kauf und hat eine robuste Lösung und einen schweren Verschluss, der auf alle Fälle hinuntergeht. Das ist ein allgemeines Charakteristikum. So sieht man zum Beispiel auf Bild 19 eine 120 t schwere Tafel als Notverschluss vor Turbineneinläufen. Sie wird eingesetzt, wenn eine Schnellschlußschütze gewartet oder repariert werden muß. Dafür hätte man bei uns jedenfalls einen Satz von 4 oder 5 Dammbalken gewählt. Hier hat man aus den angeführten Gründen eine einzige Tafel vorgezogen, die der große Kran vor jeder der 16 Einlauföffnungen versetzen kann. Die Wassertiefe beträgt dabei immerhin 34 m. Einen anderen großen einteiligen Verschluss zeigt Bild 20. Er ist im Einlauf des kanadischen Umleitungs-Kraftwerkes am Niagara fall angeordnet.

Bisher war von Kraftwerken die Rede. Ein großer Teil der Talsperren und Wehrbauten auf der Welt dient aber anderen Zwecken, vor allem der künstlichen Bodenbewässerung. Bei unserem ausgeglicheneren Klima denken wir meist nicht daran, daß mehr als drei Viertel der Landoberfläche der Welt künstlich bewässert werden müssen. Das bauliche Konzept für ein solches Bewässerungsprojekt ist

Bild 19: Notverschluss Aswan

Fig. 19: Emergency gate, Aswan



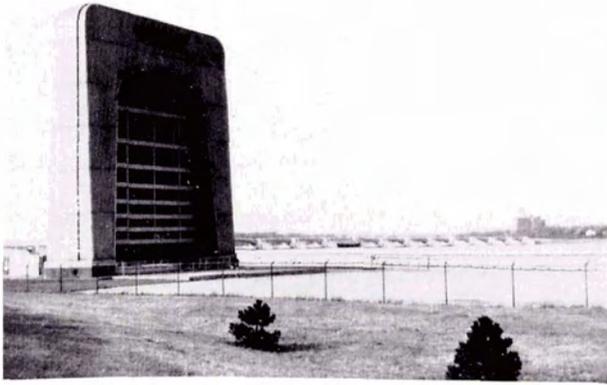


Bild 20: Einlaufverschluß des kanadischen Niagarakraftwerkes

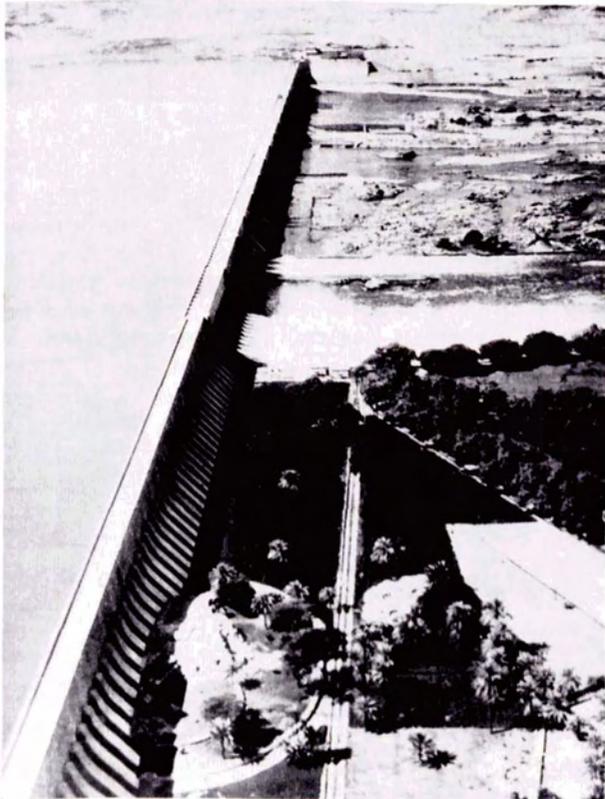
Fig. 20: Intake gate of the Niagara power station in Canada

einfach. Man benötigt Jahres- oder Überjahresspeicher im Oberlauf des Flusses, um den meist sehr unregelmäßigen Abfluß eines subtropischen Stromes zu sammeln, und man braucht dann Verteilerwehre im Unterlauf, um das Wasser in das Netz der Bewässerungskanäle abzuzweigen.

Diese für reine Bewässerungszwecke gebauten Talsperren sind nun mit Verschlußorganen auszurüsten, die den Stahlwasserbauer vor seine vielleicht schwierigsten Probleme stellen. Man braucht hier nämlich sehr große Grundablässe. Bei einem

Bild 21: Alter Assuan Damm

Fig. 21: The old Aswan Dam



Kraftwerk führt man ja nur das Hochwasser durch Schützen ab, die dann nahe der Oberfläche liegen können und im Bereich geringer Druckhöhen arbeiten. Die Schnellschlußschützen vor den Turbinen sind zwar Tiefschützen mit allen Problemen hohen Druckes, der Belüftung und Vibration, aber sie sind normalerweise entweder voll offen oder ganz geschlossen, und nur in Ausnahmefällen werden sie gegen die Strömung geschlossen und durchfahren dann in Sekunden eventuell kritische Zwischenstellungen. Hingegen müssen die Grundablässe von großen Speichern für Bewässerungszwecke regulierfähig sein und in jeder Zwischenstellung verläßlich arbeiten.

Für diesen Zweck sind Tiefschützen gebaut worden, die bei 80 m Wasserdruck eine Durchflußmenge bis zu 600 m³/sek. regulieren, das heißt, die Leistung des den Verschluß durchströmenden Wassers beträgt zirka eine halbe Million PS. Wenn durch einen geringen Fehler in der Formgebung oder Belüftung Unterdrücke entstehen und nur ein Bruchteil dieser Leistung Schwingungen anfacht und an der Schütze rüttelt, dann können die dabei auftretenden Kräfte nicht mehr beherrscht werden. Dabei sind dies wirklich hochbeanspruchte Verschlüsse, die Betriebsstundenzahlen erreichen, wie sie bei den Grundablaßarmaturen unserer Sperren völlig unbekannt sind. Bei uns werden ja die Grundablässe einer Talsperre nur in Ausnahmefällen und dann nur kurzfristig betätigt.

Am alten Aswan Dam (Bild 21) – übrigens noch immer die längste in Massivbau errichtete Sperre der Welt – konnte schon vor langer Zeit ein wirklich großes Problem durch Grundablässe allein gelöst werden. Es ging damals um die Frage, wie man die Verlandung dieses für die ägyptische Landwirtschaft lebensnotwendigen Speichers verhindern kann. Bekanntlich trägt der Nil eine enorme Schlammfracht, er transportiert bei Hochwasser an jedem Tag bis zu 3 Millionen Tonnen Schwebstoffe. Wie bei allen subtropischen Flüssen ist auch beim Nil die Boden-erosion in seinem Einzugsgebiet infolge der heftigen Regengüsse und der ungeschützten Landoberfläche sehr hoch. Die englischen Ingenieure haben nun in einem seinerzeit wirklich sehr kühnen Entwurf vorgesehen, den größten Teil der Hochwasserwelle, der den meisten Schlamm bringt, durch 144 Grundablässe vollständig abzuführen. Erst der letzte Teil des Hochwassers, wenn das Wasser schon klarer wird, wird dann zum Füllen des Reservoirs gestaut. Dieses zur Zeit seiner Planung riskante Konzept hat tatsächlich zufriedenstellend funktioniert, und die 144 Grundablässe haben über 50 Jahre die Regulierung des Nils tadellos bewältigt. Das Prinzip dieser Lösung ist daher mehrfach unter ähnlichen Verhältnissen nachgeahmt worden, zum Beispiel am Hirakud Dam am Mahanadi in Indien.

Ist nun der Abfluß durch große Speicher reguliert, so braucht man im Unterlauf des Stromes nur mehr große Verteilerwehre zum Abzweigen der Bewässerungskanäle. Bild 22 zeigt ein solches Wehr am Nil. Über 100 Schützen sind in der Steinarchitektur versteckt, die alle wieder nur durch zwei fahrbare Portalkrane betätigt werden.

Ohne viel Rücksicht auf architektonische Erwägungen sah das früher einmal meist aus wie das typische sogenannte „Kolonialwehr“ auf Bild 23. Es zeigt für unseren Geschmack zuviel Stahlkonstruktion; aber auch diese Bauweise hatte ihren Sinn: Die Schützen werden durch Handantrieb bewegt und man braucht daher Gegengewichte, um die Aufzugskräfte klein zu halten. Das erfordert hohe Windwerksbrücken, aber man bekommt dadurch auch wieder relativ schmale Pfeiler. Bei langen Wehren von bis zu 30 Feldern trägt das schon wesentlich zur Reduktion der Gründungskosten des Gesamtobjektes bei.



Bild 22: Wehr Zifta

Fig. 22: Barrage Zifta

Zum Schluß noch ein Wort über sogenannte Mehrzweckanlagen: Grundsätzlich beeinflußt natürlich jeder größere Wasserbau die Umwelt, und nicht wenige Anrainer haben auch Vorteile davon. Es spricht aber noch nicht der Definition einer Mehrzweckanlage, daß irgend jemand am Stauspiegel eines Kraftwerkes mitprofitiert. Eine echte Mehrzweckanlage wird von verschiedenen Interessenten gemeinsam finanziert, weil sie billiger ist als die Summe Einzelanlagen, die jeder für seinen speziellen Zweck errichten wollte. Dabei überschneiden sich naturgemäß oft die Betriebserfordernisse: So muß Trink- und Nutzwasser aus einem Speicher ziemlich stetig abgegeben werden; ebenso verlangt die Bewässerung eine kontinuierliche Wasserabgabe, aber ihr Bedarf ist jahreszeitlich sehr verschieden. Die Energieerzeugung hat wieder einen anderen Zeitplan, verlangt aber grundsätzlich immer einen möglichst hohen Reservoirspiegel. Dagegen sollte für den Hochwasserschutz der Speicher immer möglichst leer gehalten werden. Die Schifffahrt schließlich ist an einem möglichst gleichmäßigen Wasserstand im Stausee interessiert; sie ist besonders empfindlich gegen plötzliche Tiefenschwankungen unterhalb des Speichers.

Alle diese Forderungen können sehr verschiedene Priorität haben. In subtropischen Ländern hat die Bewässerung meist den Vorrang. Denn Energie kann auch anders erzeugt werden, aber es gibt keine Alternative für Wasser zum Erzielen von Ernten.

Viele der vorstehend behandelten Anlagen sind für mehrere Zwecke gebaut worden. So war am oberen Columbia das Hauptziel die Bewässerung,

am Tennessee war es der Hochwasserschutz und die Schifffahrt. Die Energieproduktion diente dazu, das Kostenbild zu verbessern. Eine Reihe solcher Mehrzweckanlagen werden heute in der ganzen Welt gebaut. Wegen ihrer großen Bedeutung für die Infrastruktur stehen sie an der Spitze zahlreicher staatlicher Wirtschaftspläne der Entwicklungsländer und internationalen Hilfsprogramme. Die Lieferung der Stahlwasserbau-Ausrüstung für solche Anlagen hat natürlich auch eine entsprechende Bedeutung für unseren Stahlbauexport.

Hier konnte nur ein ganz allgemeines Bild gegeben werden, wie sehr viel anders die Voraussetzungen und damit die Forderungen an den Stahlwasserbau in den meisten Teilen der Welt gelagert sind als bei unseren hochspezialisierten mitteleuropäischen Anlagen.

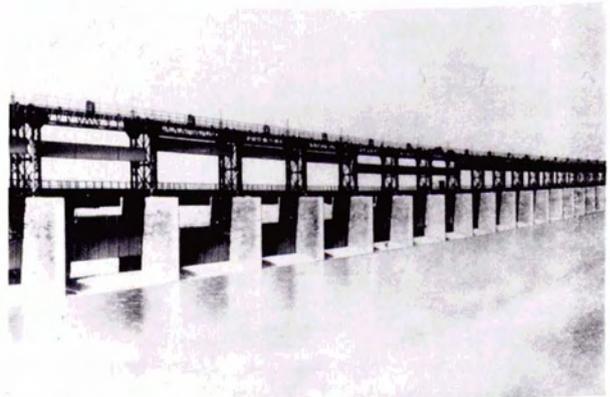


Bild 23: Panjnad-Sperre, Pakistan

Fig. 23: Panjnad-Barrage, Pakistan

Bei der Konstruktion ist es nun wesentlich, diese andersartigen Voraussetzungen von Anfang an konsequent durchzudenken. Mit sogenannten Erfahrungen allein ist dabei meist nicht viel erreicht. Dazu nur ein ganz primitives Beispiel:

Bei uns ist es eine jahrhundertealte Erfahrung, daß Eichenholz im Wasser beständig ist. In afrikanischen Strömen dagegen wird dasselbe Eichenholz in wenigen Monaten vollständig zerstört. Nur schwere tropische Edelhölzer halten dort im Wasser aus.

In Entwicklungsländern müssen auch die ganz anders geartete Verhältnisse in der Wartung und Ersatzteilbeschaffung berücksichtigt werden; denn sie sind oft entscheidend für die Funktion.

Wenn man aber schon unbedingt nach Vorbildern für Stahlwasserbaulieferungen nach Großraumbereichen und Entwicklungsländern sucht, findet man oft in Amerika noch am ehesten etwas Geeignetes. Denn der Colorado zum Beispiel ist dem Nil immer noch ähnlicher als etwa der Neckar. Grundsätzlich müssen aber die gegebenen, oft sehr verschiedenen Voraussetzungen und betrieblichen Forderungen in jedem Einzelfall richtig erkannt und ingenieurmäßig durchdacht werden, wenn wir unsere Stellung und unser Ansehen auf dem Weltmarkt auf diesem Gebiet auf lange Sicht behaupten wollen.

Dr. techn. Rudolf Heckel,
Direktor der Waagner-Biro AG, Wien

Die Druckschacht- und Druckstollenpanzerungen des Kaunertalkraftwerkes*

Neue Wege zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit hochbeanspruchter Panzerungen

Von Dr.-Ing. H. Lauffer, Innsbruck

Vorstandsdirektor der Tiroler Wasserkraftwerke A. G.

DK 627.842.035.3 : 624.196.18 : 69.058

Einleitung

Planung und Ausführung von Druckstollen und Druckschächten gehören neben dem Talsperrenbau zu den schwierigsten Aufgaben der Wasserkrafttechnik. Dies gilt besonders für gepanzerte Stollen und Schächte, wo hochbeanspruchte Stahlbauteile mit dem umgebenden Gebirge als Verbundkonstruktion zusammenwirken.

Dabei ist das Gebirge bekanntlich ein Baustoff, dessen Eigenschaften von Fall zu Fall wie auch der Lage und Richtung nach so weitgehende Unterschiede und Unregelmäßigkeiten aufweisen kann, daß er den denkbar größten Gegensatz zum industriell mit gleichbleibender Qualität hergestellten Stahl bildet. Der Stahlbau, der meist mit klaren Randbedingungen rechnen kann, trifft bei der Ausführung von Druckschachtpanzerungen auf die naturbedingten Unsicherheiten der Tiefbautechnik, die trotz aller Fortschritte von Geologie und Felsmechanik nie ganz beseitigt werden können.

Das vor kurzem fertiggestellte Kaunertalkraftwerk der Tiroler Wasserkraftwerke AG. (TIWAG) führte nicht nur beim Staudamm, sondern auch beim Druckstollen und Druckschacht zu neuen österreichischen Spitzenleistungen und war hierdurch Anlaß für verschiedene Neuentwicklungen mit dem Ziel, die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit hochbeanspruchter Panzerungen zu erhöhen.

Das Kaunertalkraftwerk

Das Kaunertalkraftwerk ist ein typisches alpines Speicherkraftwerk mit großer Fallhöhe (Abb. 1). Der wichtigste Teil ist der Gepatschspeicher mit 140 Mio m³ Inhalt im innersten Kaunertal, dessen Einzugsgebiet durch Beileitung von Seitenbächen und zwei Überleitungen aus Nachbarältern auf 278 km² vergrößert wird. Die Abarbeitung erfolgt über eine einzige Kraftstufe mit 900 m Fallhöhe zu einem freistehenden Kraftwerk im Inntal bei Prutz. Mit einer Ausbaumengenleistung von 50 m³/s steht eine mittlere Leistung von 345 MW¹ und eine Maximalleistung von 385 MW zur Verfügung, womit das Kaunertalkraftwerk zur Zeit das leistungsstärkste Kraftwerk Österreichs ist. Das Arbeitsvermögen beträgt 570 GWh² im Jahr, wovon 335 GWh (60 %) auf den Winter entfallen.

Der Speicher wird durch einen 150 m hohen Felschüttdamm mit einer Schüttmenge von 7,1 Mio m³ gebildet, der zu den zehn höchsten Staudämmen der Welt gehört.

Die 1961 begonnenen Bauarbeiten wurden in der Hauptsache 1964 abgeschlossen, so daß bereits Ende September 1964 ein Teilbetrieb mit drei Maschinen aufgenommen werden konnte, dem schon im Mai 1965 mit Inbetriebsetzung des fünften Maschinensatzes und der letzten Überleitungen der Vollbetrieb folgte.

Druckschachttrasse und Geologie

Der Kraftabstieg liegt in dem Rücken zwischen dem Kaunertal und dem Inntal, der aus weichen und wenig standfesten Bündner Schiefen des sogenannten Engadiner Fensters besteht. Infolge der sehr steilen, teilweise durch Hangschutt überdeckten und zur Rutschung neigenden Hänge kam eine freiliegende Rohrleitung nicht in Betracht, so daß trotz der ungünstigen geologischen Verhältnisse ein Druckschacht ausgeführt werden mußte, der zu den höchstbeanspruchten der Welt gehört.

In Abb. 2 sind die Hauptdaten der österreichischen Ausführungen und Projekte sowie für eine Auswahl aus anderen

* Nach einem Vortrag auf der Österreichischen Stahlbautagung im September 1965 in Linz. Veröffentlicht in der Zeitschrift Der Bauingenieur 41 (1966), Heft 2, S. 41—49.

¹ 1 MW = 10³ kW. ² 1 GWh = 10⁶ kWh.

Ländern mit den bekanntgewordenen Spitzenleistungen dargestellt. Die Hyperbelllinien geben den von Chwalla [4]³ eingeführten Kennwert $p_i \cdot r_i$ an, welcher der Umfangzugkraft eines freiliegenden Rohres entspricht. Die oberste Linie mit 20 000 kg/cm, die nur vom Druckschacht Rose-land (Frankreich) erreicht wird, würde freiliegend bei einer zulässigen Spannung von 2000 kg/cm² eine Wandstärke von 10 cm erfordern. Beim Kaunertal und den benachbarten, etwa gleichrangigen Druckschächten mit rd. 15 000 kg/cm wären es 7,5 cm. Beachtenswert sind im Diagramm jüngere Beispiele mit einfachen Betonauskleidungen für 30 bis 40 kg/cm² Innendruck wie z. B. Bersimis (Kanada) und Cruachan (Schottland), die allerdings durch ausgezeichnete Gebirgsverhältnisse begünstigt sind.

Da geländebedingt nur ein einziges Zwischenfenster zweckmäßig war, ergaben sich nach Abb. 3 ungewöhnlich

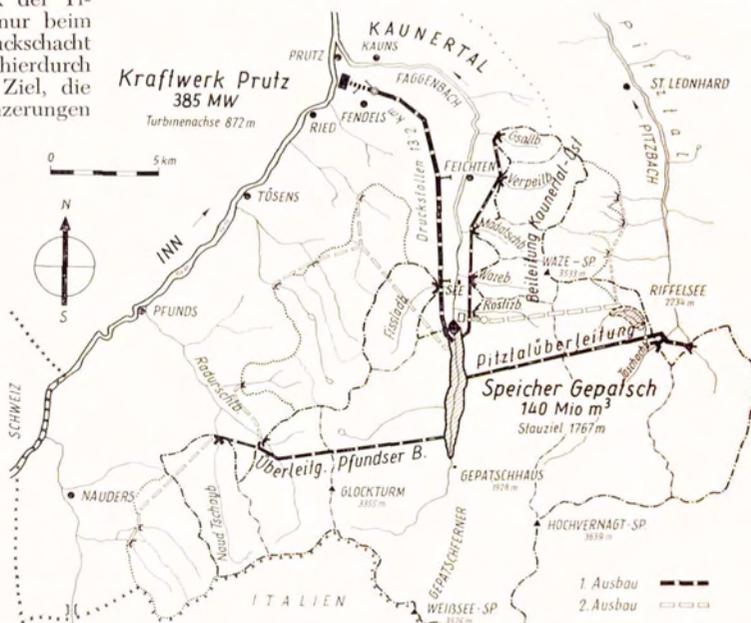


Abb. 1. Übersichtslageplan des Kaunertalkraftwerkes.

große Abschnittslängen, bei der oberen Schrägstrecke 966 m bei 3,30 m Durchmesser und 37 % Steigung und bei der unteren Steilstrecke 640 m bei 3,10 m Durchmesser und 80 % Steigung. Einschließlich der 300 m langen Flachstrecke mit von 3,10 m auf 2,85 m abnehmendem Durchmesser beträgt die Gesamtlänge des unteren Abschnittes 940 m.

Der geologische Aufbau ist sehr wechselnd, der obere Teil liegt in einem ziemlich gleichmäßigen Kalkphyllit, anschließend folgen Serizitschiefer mit Gipseinlagen, die beim Vortrieb durch schwere Wasser- und Schlammereinbrüche sehr große Schwierigkeiten bereitet haben. Unter dem Zwischenfenster wurde ein schmaler Dolomitzug angefahren, während der unterste Teil im Kalkschiefer liegt, dessen Standfestigkeit im Steilschacht wesentlich ungünstiger war, als nach den Sondierungen zu erwarten war.

Die Höhenlage der Druckschachtachse wurde so gewählt, daß der Überlagerungsdruck mindestens dem vom Gebirge aufzunehmenden Innendruckanteil entspricht, was auch bei der Bemessung des äußeren Teiles der Flachstrecke berücksichtigt wurde.

³ Siehe Literaturverzeichnis am Ende des Berichtes.

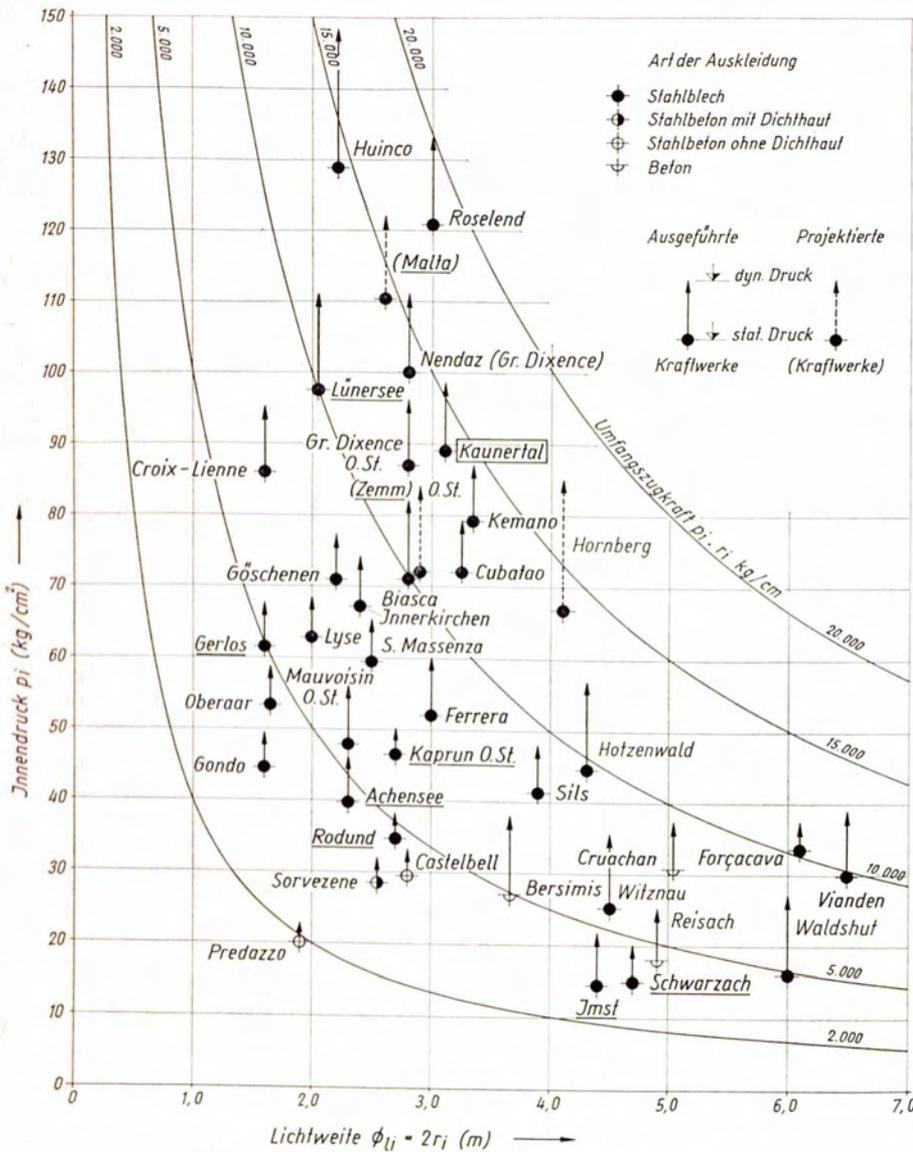


Abb. 2. Vergleich ausgeführter und geplanter Druckschächte

Die Bemessung für Innendruck auf Grund von Felsdehnungsmessungen

Die aus wirtschaftlichen Gründen erwünschte Ausnutzung der Gebirgsmitwirkung kann nur auf Grund von Großversuchen über die Felsnachgiebigkeit zuverlässig berücksichtigt werden, die nach Art und Größe der Belastung möglichst wenig von den im Druckschacht auftretenden Verhältnissen abweichen sollen. Um den großen Zeit- und Geldaufwand für die hierfür bisher in Betracht kommenden aber nur selten ausgeführten Druckkammerversuche zu vermeiden, wurde für das Kaunertalkraftwerk eine eigene Einrichtung entwickelt, die nur einen Bruchteil des bisherigen Aufwandes erfordert und daher öfters eingesetzt werden kann [8]. Mit diesem Gerät, das inzwischen als TIWAG-Radiapresse bekanntgeworden ist, wurde allein im Kaunertal an zwanzig verschiedenen Stellen gemessen [14], die für den Druckschacht ausgeführten Meßstellen sind in Abb. 3 gekennzeichnet. Als Meßstrecke für das Gerät dient ein 2 m langer Stollenabschnitt mit Kreisprofil von 2,20 m Lichtweite, der mit Spritzbeton ausgekleidet ist (Abb. 4). Mit Hilfe von Druckkissen, die über Holzbohlen gegen Stahlringe abgestützt sind, kann die Stollenwandung mit einem Innendruck von 70 kg/cm², entsprechend einer Gesamtbelastung von 10 000 t, beansprucht werden. Im Vergleich zum Kaunertal-Druckschacht liegt somit ein Modellversuch im Maßstab 1 : 1,5 bei gleich hoher spezifischer Felsbelastung vor.

Die gegenüber einer festen Bezugsachse (Zentralrohr) auftretenden Deformationen des Gebirges werden mittels

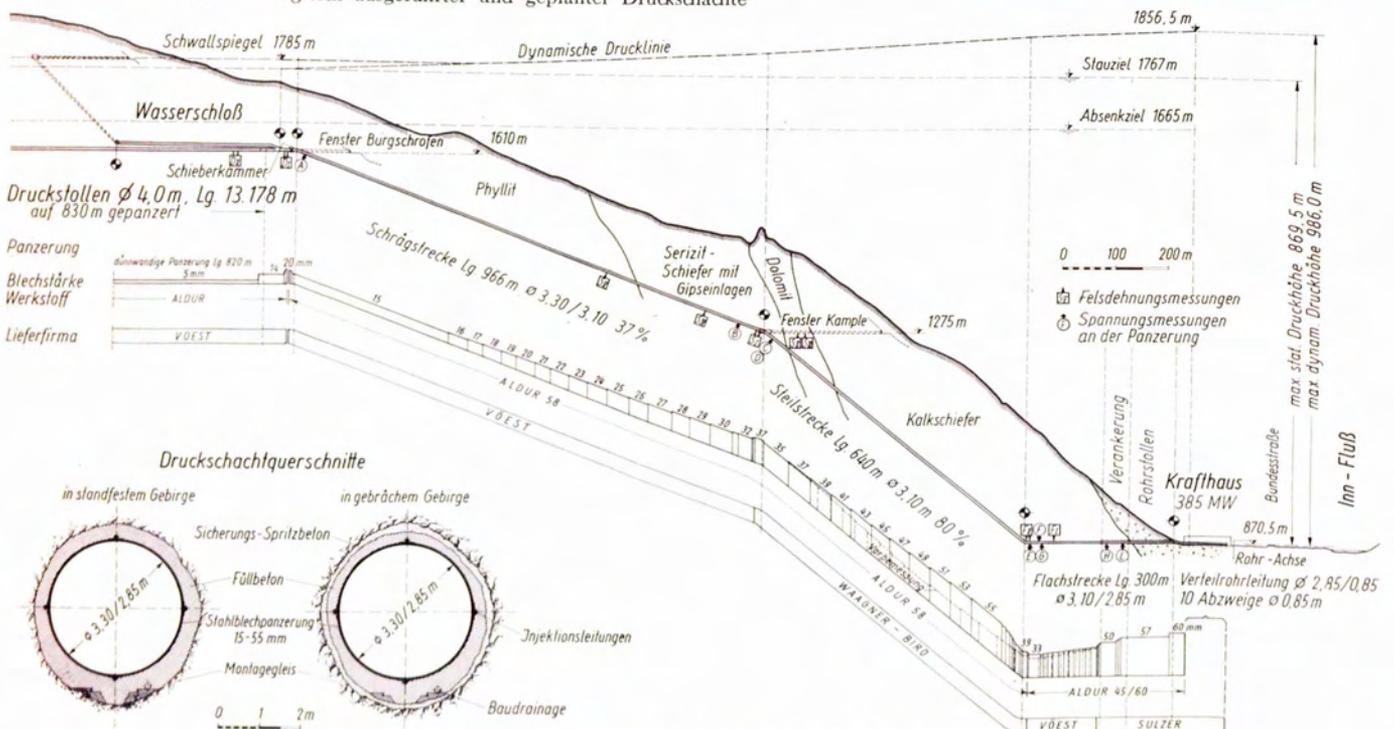


Abb. 3. Kaunertalkraftwerk, Höhenplan des Druckschachtes.

diese unter der festgelegten Mindestwandstärke liegt (im Diagramm mit $t/r = 0,01$ angenommen), ist die Spannung so lange zu verkleinern, bis diese erreicht ist. Zur Berücksichtigung des ohne besondere Maßnahmen unvermeidlichen Spaltes zwischen der Panzerung und der Hinterbetonierung, der durch Betonschwindung und Abkühlung (siehe Teilung am oberen Rand) entsteht, wird die Felsarbeitslinie um die relative Spaltweite u_0/r (im Maßstab der Radialdehnung) nach rechts verschoben, was eine größere Wandstärke zur Folge hat. So ergeben die Bemessungsbeispiele 1 und 2 in Abb. 5 für $\Phi = 3,10$ m und $p_i = 97$ kg/cm² ohne Spalt 34 mm, mit 0,3 ‰ Spaltweite hingegen 44 mm Wandstärke.

Der vom Gebirge aufgenommene Innendruck ist für eine bestimmte Arbeitslinie nur mehr von der Stahlspannung abhängig, während die Aufteilung des Innendruckes auf Gebirge und Auskleidung mit der Druckhöhe veränderlich ist. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 6 für mittlere Gebirgsverhältnisse (Verformungsmodul 50 000 kg/cm²) dargestellt und zeigt eine beträchtliche Abnahme des Gebirgsanteils mit zunehmendem Innendruck. Erfahrungswerte über das Aufteilungsverhältnis sind daher auf andere Fälle nicht übertragbar. Wie aus der eingetragenen Grenzlinie hervorgeht, wirken sich Vorschreibungen über den bei der Bemessung max. zulässigen Gebirgsanteil, der z. B. für den Kautertal-Druckschacht indirekt mit max. 60 ‰ begrenzt war, nur bei kleineren Drücken oder bei sehr gutem Fels aus, in welchen Fällen ohnehin meist die festgelegte Mindestwandstärke oder die Beulsicherheit für die Bemessung maßgebend ist.

Ein neues Injektionsverfahren zur Vermeidung der Nachteile des Umfangspaltes

Der große Einfluß eines Umfangspaltes ist aus den Beispielen 3 und 4 in Abb. 5 zu erkennen, wonach infolge der üblichen Spaltweite von 0,3 ‰ eine um 450 kg/cm² höhere Beanspruchung der Panzerung eintritt. Allgemein ergibt sich bei gleichbleibendem Verformungsmodul durch einen Umfangsspalt u_0 folgende Spannungserhöhung:

$$\Delta \sigma_e = \frac{E_e}{1 - \nu^2} \cdot \frac{u_0}{r} \cdot \frac{p_i}{p_i} \quad (1)$$

Die infolge eines Spaltes erforderliche zusätzliche Wandstärke ist vom Verhältnis der zulässigen Spannung σ_e zum Verformungsmodul des Gebirges abhängig:

$$\frac{\Delta t}{r} = \frac{u_0}{r} \cdot \frac{V_f}{\sigma_e} \cdot \frac{m}{m+1} \quad (2)$$

Dies entspricht bei durchschnittlichen Verhältnissen einer

Wandstärkenzunahme von 7,5 bis 15 mm, die bei Vermeidung eines Spaltes erspart werden kann. Für besseres Gebirge ergeben sich noch höhere Werte.

Es war daher immer schon das Bestreben, den Spalt durch entsprechende Maßnahmen möglichst klein zu halten oder ganz zu unterdrücken. Die bisher zu diesem Zweck üblichen Bohrlochinjektionen über radial gerichtete Bohrlöcher sind hierzu jedoch nur bedingt geeignet und haben erfahrungsgemäß folgende Nachteile:

Das Bohrschema muß schon vorher festgelegt werden, da infolge der zum Gesteinsbohren notwendigen großen Lochweite Verstärkungen für die Injektionsöffnungen erforderlich sind. Weiters besteht die Gefahr des Einbeulens durch Drucksteigerungen, da beim Verpressen einzelner Bohrlöcher mit Zementmilch oft sehr rasch die Sättigung erreicht wird. Schließlich bleiben zwischen den Bohrlöchern immer noch hohle Stellen, die auch durch wiederholtes Aufbohren und Nachinjizieren selten ganz beseitigt werden können.

Um diese Nachteile zu vermeiden und eine zuverlässige Spaltbeseitigung zu erreichen, wurde von der TIWAG eine neue Injektionsmethode⁴ entwickelt, die im Prinzip dem zum Auspressen von Gewölbemauerfugen üblichen Verfahren entspricht.

Die Injektionen werden nach Abb. 7 mittels an der Außenfläche der Panzerung verlegter Injektionsleitungen durchgeführt, die mit zahlreichen ventilartigen Auslässen versehen sind und an den Rohrschüssen vor dem Einfahren befestigt werden. Im Kautertal wurden hierfür kleinkalibrige Eisenrohre verwendet, die zur Herstellung der Ventile in kurzen Abständen gelocht und mit einem dickwandigen Gummischlauch überdeckt sind. Die einzelnen Auslässe werden noch mit einer Kunststoffolie überklebt, um eine ausreichende Druckausbreitung zu Beginn der Einpressung zu sichern. An den Rohrschüßenden sind die Injektionsrohre an Bohrungen angeschlossen, so daß sie vom Rohrrinneren aus beaufschlagt und schließlich verschlossen werden können.

Diese Einrichtungen ermöglichen eine kontinuierliche Ausführung der Injektionen, indem von unten nach oben fortschreitend jeweils mindestens eine Injektionsleitung an die Injektionspumpen angeschlossen und laufend die fertig injizierten Leitungen abgeschaltet und dafür neue zugeschaltet werden. Durch die großflächige Wirkung des Injektionsdruckes auf einen längeren Druckschachtabschnitt kann auf das Gebirge eine der späteren Belastung vergleichbare Beanspruchung ausgeübt und damit nicht nur die sichere Spaltfüllung gewährleistet, sondern auch eine Druck-Vorspannung der Panzerung erreicht werden. Die

Zementmilch dringt bei genügend hohem Druck in das durch diesen aufgerissene Gebirge ein, und zwar nach den bisherigen Erfahrungen im gleichen Ausmaß wie bei mehrmaligen Bohrlochinjektionen.

Mit Hilfe des neuen Injektionsverfahrens ist es aber auch ohne größeren Zeitverlust möglich, die Spaltinjektionen erst nach der ersten Druckprobe durchzuführen, da keine Bohrarbeiten mehr erforderlich sind. Die Injektionen können hierdurch besonders wirkungsvoll bei der größtmöglichen Spaltweite durchgeführt werden, da durch die Wasserfüllung und eine länger dauernde Druckprobe der größte Teil der zu erwartenden Abkühlung und der nicht elastischen Felsdeformationen vorweggenommen wird. Auf diese Weise wird nicht nur eine größere, sondern auch eine gleichmäßigere Gebirgsmitwirkung erreicht, so daß für die Beanspruchung der Panzerung schließlich nur noch die elastische Gebirgsnach-

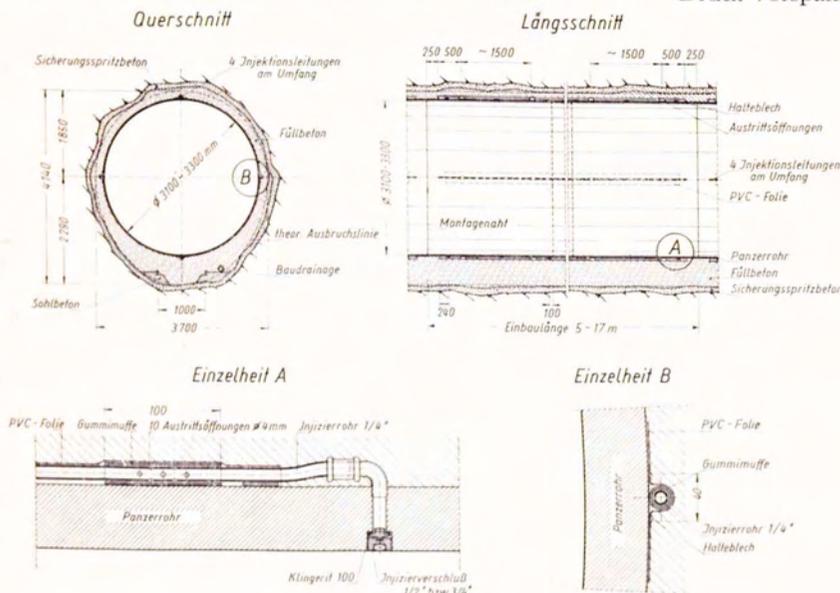


Abb. 7. Injektionsverfahren der TIWAG für gepanzerte Druckschächte zur Beseitigung des Umfangspaltes und zum Ausgleich der plastischen Felsdeformationen

⁴ Patente in Österreich, Deutschland und anderen Ländern angemeldet.

giebigkeit und die erreichte Vorspannung maßgebend ist.

Die Spannungsmessungen im Druckschacht

Die Wirkung der Spaltinjektionen wurde durch die im Kaunertal-Druckschacht ausgeführten Spannungsmessungen mit aufgeklebten Dehnstreifen bestätigt. Wie die als Beispiel in Abb. 8 dargestellten Dehnungen der Meßstelle E 3 zeigen, hat sich die Panzerung bei der ersten Druckprobe vor der Spaltinjektion bis zu einer Dehnung von 0,3 bis 0,4 ‰ wie ein freiliegendes Rohr verhalten, was eine Spaltweite dieser Größe voraussetzt, während von da an die Entlastung infolge der Gebirgsmitwirkung einsetzt. Nach der anschließenden Spaltinjektion wurden mit den gleichen Dehnstreifen Druckspannungen bis zu 600 kg/cm² gemessen, wobei allerdings nicht sicher ist, ob diese Vorspannung im vollen Ausmaß erhalten geblieben ist, da die Dehnstreifen wegen der Anstricharbeiten entfernt werden mußten. Die bei der zweiten Druckprobe mit neu angebrachten Dehnstreifen erhaltenen Werte zeigen jedenfalls eindeutig, daß nach der Injektion kein Spalt mehr vorhanden war und daß entsprechend der größeren Steigung

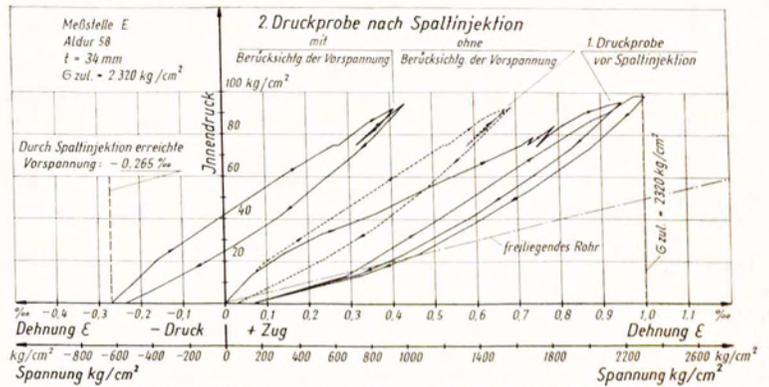


Abb. 8. Spannungsmessungen im Kaunertal-Druckschacht Meßstelle E 3.

der Dehnungslinie eine nicht unbedeutliche Verbesserung der mechanischen Felseigenschaften erreicht wurde.

In Tabelle 1 sind die Auswertungen der Dehnungsmessungen in 8 Querschnitten mit 30 Meßstellen (Lage s. Abb. 3) den Berechnungsspannungen σ_0 gegenübergestellt, die sich mit der ausgeführten Wandstärke und der jeweils maßgebenden Arbeitslinie für 0,3 ‰ Spaltweite

Tabelle 1. Ergebnisse der Spannungsmessungen im Druckschacht des Kaunertalkraftwerkes vor und nach der Spaltinjektion

Meßquerschnitt	Meßstelle	Innendurchmesser ϕ mm	Wanddicke t mm	Streckgrenze σ_s kg/cm ²	max. Innendruck p_i kg/cm ²	Injektionsdruck p_{II} kg/cm ²	Ringzugspannungen ^{oo}					Fels	Anmerkung		
							nach Bemessung mit Arbeitslinie σ_0 kg/cm ²	Meßwerte der 1. Druckprobe vor der Spaltinjektion σ_I kg/cm ²	Meßwerte der 2. Druckprobe nach der Spaltinjektion σ_{II} kg/cm ²	σ_I/σ_0 —	σ_{II}/σ_0 —			$\sigma_I - \sigma_{II}$ kg/cm ²	
A	1	3.300	15 ^o	4.100	17,9	6	S V ₂ 1480	1316	—	0,89	—	—	Phyllit	° Minimalwanddicke; nach Arbeitslinie erforderlich t = 8 mm	
	2							1447		0,98					
	3							1193		0,81					
	4							1798		1,21					
	5							1346		0,91					
B	1	3.100	32	4.000	45,0	28	S IV ₂ 2320	1798	—	0,78	—	—	Serizit-schiefer Verbruchsstelle		
	2							—		—					
	3							1817		0,78					
	4							2106		0,91					
	5							1759		0,76					
C	1	3.100	35	4.000	51,6	34	S IV ₂ 2240	2114	—	0,94	—	—	Serizit-schiefer	Laschen-naht	
	2							1929		0,86					
	3							2229		1,00					
	4							2102		0,94					
	5							2155		0,96					
Mittel A — C										0,91					
D	1	3.100	35	4.000	54,6	34	S IV ₂ 2240	1924	1904	0,86	0,85	20	Serizit-schiefer		
	2							2128		0,95					
	3							2292		1,02					328
E	1	3.100	37	4.000	96,5	40	F II ₂ 2210	2093	1577	0,95	0,71	516	Kalk-schiefer		
	2							2070		0,94					816
	3							2079		0,94					534
F	1	3.100	33,5	4.500	96,6	40	F II ₂ 2325	2222	1979	0,96	0,85	243	Kalk-schiefer	Laschen-naht	
	2							2501		1,08					
	3							1977		0,85					120
	4							1961		0,84					201
	5							2363		1,02					—
G	1	3.100	33,5	4.500	96,6	40	F II ₂ 2325	2196	1924	0,95	0,83	272	Kalk-schiefer		
	2							2259		0,97					414
	3							2000		0,86					522
H	1	2.850	50	4.500	97,3	40	F II ₂ 1790	1640	—	0,92	—	—	—	Verankerung	
Mittel D — H										0,94	0,76	363			
Mittel A — H										0,925				Mittel für $\sigma_{II}/\sigma_I = 0,82$	

^{oo} ermittelt für p_i aus den reversiblen Umfangs- und Längsdehnungen

ergeben. Die bei der ersten Druckprobe vor der Spaltinjektion festgestellten Spannungen σ_1 liegen mit wenigen Ausnahmen unter den Berechnungswerten und erreichen bei den Meßquerschnitten A bis C im Mittel 91 %, bei D bis H im Mittel 94 % von σ_0 . Bei der zweiten Druckprobe mußten die Messungen aus Zeitmangel auf den unteren Bereich D bis H mit 11 Meßstellen beschränkt werden und ergaben ohne Berücksichtigung der sicher vorhandenen Vorspannung als Maximalwert 88 % und im Mittel 76 % der Berechnungsspannung. Durch die Spaltinjektionen wurde im Durchschnitt eine Verminderung der gemessenen Spannungen um rd. 360 kg/cm² erreicht, welche durch die vernachlässigte Vorspannung in Wirklichkeit noch vergrößert wird. Bemerkenswert ist, daß die Messung im sehr ungünstig beurteilten Serizitschiefer, in dem die Panzerung ohne Gebirgsmitwirkung bemessen wurde, einen Gebirgsanteil von 20 % ergab.

Bei Anwendung des neuen Injektionsverfahrens mit genügend hohen Einpreßdrücken nach vorangegangener Druckprobe könnte daher die Bemessung für den Endzustand ohne Spalt durchgeführt werden, sofern für die erste Druckprobe — wie z. B. auch bei Werksabnahmen üblich — eine höhere Beanspruchung zugelassen wird.

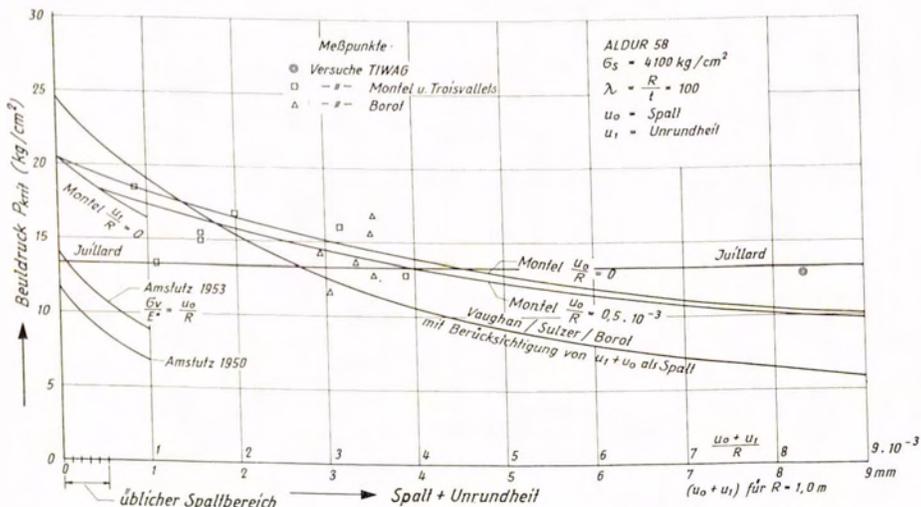


Abb. 10. Einbeuldruck von einbetonierten Stahlrohren für $\lambda = R/t = 100$ und $\sigma_s = 4100 \text{ kg/cm}^2$.

Beulversuche und Bemessung für Außendruck

Wie bereits dargelegt, ergibt die Bemessung für Innendruck bei gutem Fels bzw. bei kleinen Innendrücken so kleine Wandstärken, daß die Beulsicherheit gegen Außendruck infolge der Einwirkung des Gebirgswassers und der notwendigen Injektionen maßgebend wird. Wegen der mit möglichst hohen Drücken beabsichtigten Spaltinjektionen war beim Kaunertalkraftwerk die genaue Kenntnis des Einbeuldruckes besonders wichtig. Bekanntlich sind weit aus die meisten Schäden an Druckschachtpanzerungen durch Einbeulen verursacht worden, wobei nur ein Drittel der Fälle durch Gebirgswasserdruck, zwei Drittel jedoch beim Injizieren entstanden sind.

Die alte Streitfrage, ob durch Drainagen ein größerer Außendruck zuverlässig vermieden werden kann, war im Kaunertal leicht zu entscheiden, weil infolge des zum Teil wasserlöslichen Gebirges (Gips) und der auf jeden Fall für notwendig erachteten Hochdruckinjektionen Drainagen als Dauereinrichtung auf keinen Fall in Betracht kamen. Da bei 3,30 m Lichtweite das Lichtraumprofil der Bahn bereits voll ausgenützt war und außenliegende Anker oder Verstärkungen bei dem knappen Stollenprofil die Betonierung behindert hätten, wurden durchwegs glatte Panzerrohre verwendet. Zur Aufklärung der großen Abweichungen, welche die zur Zeit der Vorplanung des Kaumerkraftwerkes hauptsächlich verwendeten Ableitungen von Amslutz [1, 2], Juillard [6] und Sulzer/Vaughan [16] für den Beuldruck ergaben, wurde von der TIWAG ein eigener

Versuchsstand für Einbeulversuche eingerichtet, der mit Erfolg auch zur Erprobung der bereits beschriebenen Spaltinjektionsmethode verwendet werden konnte.

Der Versuchsstand (Abb. 9) erlaubt die Untersuchung von einbetonierten Panzerrohren mit 1 m Durchmesser und 3 m Länge, wobei ein geteiltes dickwandiges Außenrohr das Gebirge ersetzt und mit Hilfe nachgiebiger Einlagen eine größere und auch örtlich veränderliche Gebirgsnachgiebigkeit einstellbar ist. Durch geeignete Einrichtungen kann das Versuchsrohr wahlweise durch Innendruck oder Außendruck beansprucht werden, so daß durch eine Innendruckbelastung während der Einbetonierung es möglich ist, eine bestimmte Spaltweite herbeizuführen. Mit Hilfe von aufgeklebten Dehnstreifen sowie durch direkte Messung der radialen Deformationen mit Meßuhren und einer einfachen Schreibvorrichtung kann bei Außendruckversuchen das Einbeulen sehr genau verfolgt werden. Die untersuchten glatten Rohre mit 5 mm Wandstärke hatten gerade ein Drittel der Abmessungen der Kaunertal-Panzerung bei Mindestwandstärke.

Mit der gleichen Einrichtung sind in Zusammenarbeit mit der VÖEST auch systematische Versuche für den Druckschacht des Pumpspeicher-Kraftwerkes Vianden über

die Wirkung von äußeren Verankerungen durchgeführt worden.

In Abb. 10 ist der Beuldruck für die Streckgrenze $\sigma_s = 4100 \text{ kg/cm}^2$ und die Schlankheit $\lambda = r/t = 100$ — die ungefähr den üblichen Mindestwandstärken entspricht — in Abhängigkeit von der Spaltweite und der 1960 von Montel [11] eingeführten Unrundheit dargestellt. Den häufigsten

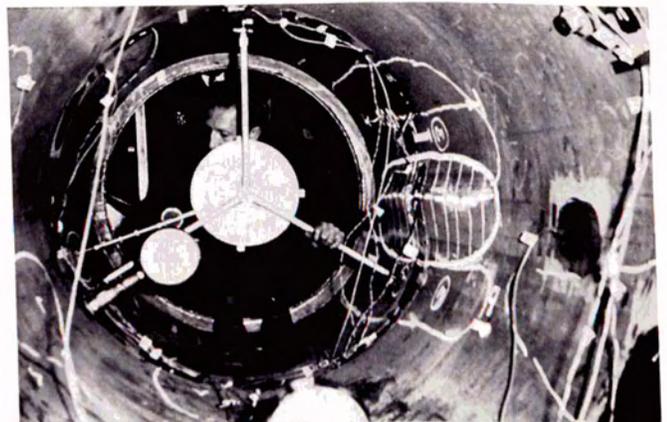


Abb. 9. Versuchsstand der TIWAG bei einem Beulversuch. Links und unten Kontrollmanometer, in der Mitte Schreibgerät zur Aufzeichnung der Radialverschiebungen, rechts einbeulter Bereich angezeichnet.

ger verwendeten Beul-Formeln sind die hinsichtlich der Schlankheit naheliegenden Versuchsergebnisse von Borot [3] und Troisvallets [15] (im Verhältnis $\lambda^{-1,5}$ umgerechnet) und die eigenen Versuche gegenübergestellt, die wegen der inzwischen bekanntgewordenen französischen Großversuche auf zwei zufällig zusammenfallende Versuche, beschränkt wurden.

Im dargestellten Bereich zeigt die halb empirische Montel-Formel im Durchschnitt die kleinsten Abweichungen von den Meßwerten, die allerdings infolge der schwierigen Versuchstechnik recht große Streuungen aufweisen und möglichst durch weitere Untersuchungen ergänzt werden sollten.

Für den Kaunertal-Druckschacht wurde daher der Beuldruck nach Montel für 0,5 ‰ Spaltweite und 5 ‰ Unrundheit ermittelt, wobei gegenüber dem in halber Höhe der Überlagerung angenommenen Gebirgswasserspiegel eine mindest zweifache Sicherheit eingehalten wurde, die infolge der durch die Spaltinjektion erreichten Spaltseitigung und Vorspannung sicher beträchtlich überschritten wird. Der zulässige Injektionsdruck ist hingegen für eineinhalbfache Sicherheit festgelegt worden, was sich bei der Ausführung als ausreichend erwiesen hat. Bei Mindestwandstärke ist allerdings der Beuldruck nach Abb. 10 bereits so klein, daß eine wirkungsvolle Felsinjektion kaum möglich ist, was im vorliegenden Fall wegen der in diesem Bereich nur kleinen Gebirgsmitwirkung ohne Belang war.

von der TVFA der TH Wien durchgeführten Versuchen mit 35 mm festgelegt worden war, erheblich überschritten. In der unteren Flachstrecke war trotz Verwendung des Vergütungsstahles Aldur 45/60 eine größte Wandstärke von 45 mm erforderlich, die in der Verankerungsstrecke auf 50 mm und im Rohrstillen auf 60 mm zunahm.

Während jedoch im Rohrstillen und im Verankerungsbereich von Anfang an durch einen größeren Ausbruch für beiderseitige Schweißung und Glühen der Montagenähte vorgesorgt wurde, war dies in Steil- und Flachstrecke auf Grund der günstigeren Vorbemessung nicht der Fall. Das nachträgliche Ausbrechen von Schweißnähten und das Glühen der Montagenähte hätte für diese Abschnitte eine wesentliche Verlängerung der Montagezeit erfordert, die im Bauprogramm nicht mehr unterzubringen war, und eine Verschiebung der Betriebsaufnahme mindestens um ein halbes Jahr bedingt hätte. Durch eine besondere Ausbildung der Montagestöße als sogenannte Seeber-Lasche⁵ konnte der zunächst unvermeidbar scheinende Terminverlust vermieden werden.

Da die Längsspannung bei einbetonierten Panzerrohren nur ein Drittel der Ringspannung beträgt, ist bei den Rundnähten eine örtliche Querschnittsverminderung zulässig, bei 60 ‰ der Wandstärke erreicht die Längsspannung ohne allfällige Biegespannungen erst 50 ‰ der Ringspannung. Die hierdurch ausfallende Ringwirkung muß jedoch ersetzt werden. Bei der Seeber-Lasche nach Abb. 11 ist zu diesem Zweck eine überbemessene doppel-

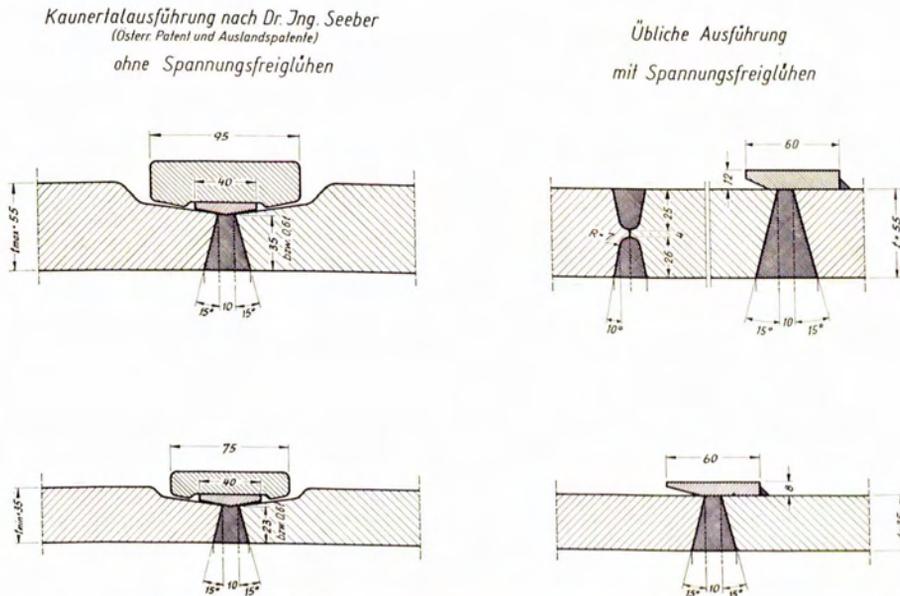


Abb. 11. Montagestöße für dickwandige Panzerungen: Gegenüberstellung der Seeber-Lasche und der bisher üblichen Ausführung.

Wandstärke und konstruktive Ausbildung

Als Ergebnis der nach diesen Grundsätzen durchgeführten Bemessung, wobei teils der Innendruck, teils der Außendruck maßgebend war, ergab sich die in Abb. 3 dargestellte Wandstärkenverteilung. Im eigentlichen Schacht kam durchwegs der von der VÖEST hergestellte Sonderstahl Aldur 58 mit 40 bis 41 kg/mm² Mindeststreckgrenze zur Anwendung. Während in der Schrägstrecke für einen längeren Bereich die mit 15 mm angenommene Mindestwandstärke ausreichte und max. 32 mm erforderlich waren, ergab die endgültige Bemessung für den Steilschacht, die erst nach dem Ausbruch möglich war, infolge der ungünstigeren Gebirgsverhältnisse bedeutend größere Wandstärken als bei der Vorbemessung (gestrichelte Linie).

Mit max. 55 mm wurde die für Aldur 58 ohne Spannungsfreiglühen noch zulässige Grenzdicke, die nach eigen-

konische Außenlasche vorgesehen, die infolge der Abstützung im Nahtbereich die Wurzel der Rundnaht entlastet. Durch eine über Vorschlag der VÖEST eingelegte gesonderte Schweißlasche wird die ungünstige Auswirkung der Wurzelschweißung auf diese beschränkt.

Abgesehen vom Entfall der Baustellenglühung ergibt sich ein kleinerer Schweißnahtquerschnitt, was besonders gegenüber der normalen Nahtausbildung für einseitige Schweißung ins Gewicht fällt. Die Seeber-Lasche hat auch die Montage und die Schweißarbeit erleichtert, da Rohrenden und Lasche genau passen und beim Zusammenfahren zwangsweise zentriert werden, wodurch ein Versatz oder ein Klaffen der Blechkanten sicher vermieden wird. Dafür müssen die erhöhten Schweißspannungen ge-

⁵ Patentrechte in Österreich, Deutschland und anderen Ländern.

Die gewählte Wandstärke von 5 mm ermöglichte den Antransport der fertig angearbeiteten Blechmängel aus Aldur 35 in eingerolltem Zustand, wodurch die kleineren Fensterstollen und auch andere Arbeitsstellen im Stollen durchfahren werden konnten. Im Druckstollen werden nach Abb. 14 vorweg Auflager- und Stoßringe mit Omega-Profil versetzt und durch Spritzbeton mit der Stollenwand verbunden. Diese Ringe sichern einerseits die notwendige Formsteifigkeit der mit einfachen Kehlnähten angeschweißten Blechmängel bis zur vollen Einbetonierung, während andererseits durch ihre Nachgiebigkeit in Stollenlängsrichtung ein zweiachsiger Spannungszustand in der Panzerung vermieden und damit ein Maximum an Verformbarkeit erreicht wird⁶.

Die neuentwickelte Radialpresse der TIWAG ermöglichte die zuverlässige Beurteilung der Felsnachgiebigkeit, so daß mit Hilfe eines sehr übersichtlichen Bemessungsverfahrens eine nahezu gleichmäßige Sicherheit der Panzerung erreicht wurde. Um den ungünstigen Einfluß des Umfangsspaltzes zu vermindern, wurde ein neues Injektionsverfahren eingeführt, das besonders wirkungsvoll ist, wenn der Druckschacht vorher einer Druckprobe unterzogen wird. Ausgeführte Spannungsmessungen ergaben nach der Spaltinjektion im Mittel nur 76 % der Berechnungswerte. Eigene Beulversuche bestätigten die Montel-Formel. Durch eine besondere Ausbildung der Montagestöße konnte trotz Wandstärken bis zu 50 mm auf das Spannungsfreiwerden im Schacht verzichtet werden. Schließ-

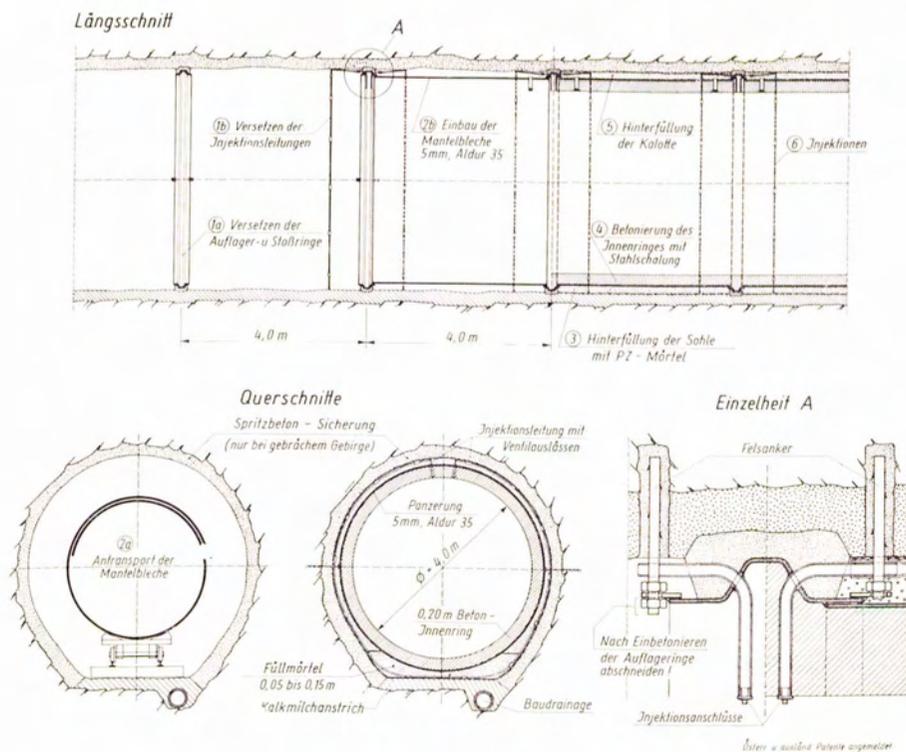


Abb. 14. Dünnwandige Stollenpanzerung System TIWAG (1a bis 6... Reihenfolge der Arbeitsgänge).

Der in Abb. 14 eingehender dargestellte Arbeitsvorgang ließ sich gut den übrigen Stollenarbeiten anpassen. Die Montage war durch den Wegfall jeder Paßarbeit sehr erleichtert, als beste Dekadenleistung wurden 160 lfm in 10 Tagen eingebaut. Nach Einbringen der Mörtelverfüllung im Sohlbereich wurde die Innenringbetonierung im Zuge der übrigen Stollenbetonierung mit fahrbarer Stahlchalung und Betonpumpe durchgeführt. Es folgte dann die restliche Hinterfüllung mit Preßmörtel und schließlich die Hochdruckinjektionen über die schon vorher verlegten Injektionsleitungen⁶ wie im übrigen Druckstollen.

Auf Grund der guten Erfahrungen, die mit dieser Bauweise gemacht wurden, kann ihre Anwendung auch für Druckschachtabschnitte in Betracht gezogen werden, bei welchen bisher der Außendruck für die Bemessung maßgebend war. Die innere Betonauskleidung ermöglicht die Zulassung hoher Injektionsdrücke als Voraussetzung für eine Konsolidierung und Vorspannung des Gebirges, während der bekanntlich sehr aufwendige und in der letzten Bauphase fast immer terminentscheidende Korrosionsschutz entfallen würde.

Zusammenfassung und Hinweise

Der 2 km lange Druckschacht des Kaunertalkraftwerkes gehört mit einer Lichtweite von 3,3 bis 3,1 m und nahezu 1000 m Druckhöhe zu den höchstbeanspruchten Ausfüh-

lich wird eine den Stollenverhältnissen besonders angepaßte dünnwandige Druckstollenpanzerung beschrieben.

Die gesamte Planung und Bauleitung wurde von der TIWAG mit eigenem Personal durchgeführt. Leiter des Baustabes war Prokurist Dr.-Ing. E. Neuhauser, als Sachbearbeiter war Dr.-Ing. G. Seeber verantwortlich.

An der Lieferung und Montage waren VÖEST und Waagner-Biro beteiligt, die Werkstoffabnahme und Schweißüberwachung erfolgte durch die Technische Versuchs- und Forschungsanstalt an der Technischen Universität Wien. Als Amtsgutachter waren Prof. Dr.-Ing. E. Chwalla und nach dessen Tod Prof. Dr.-Ing. H. Beer tätig.

Literatur

1. E. Amstutz: Das Einbeulen von Schacht- und Stollenpanzerungen. Schweiz. Bauztg. 1950, H. 9.
2. E. Amstutz: Das Einbeulen von vorgespannten Schacht- und Stollenpanzerungen. Schweiz. Bauztg. 1953, H. 16.
3. H. Borot: Flambage d'un cylindre à paroi mince, placé dans une enveloppe rigide et soumis à une pression extérieure. Application aux blindages métalliques des puits et galeries. La Houille Blanche 1957, Nr. 6.
4. E. Chwalla: Neuere österreichische Druckrohrleitungen und Druckschächte. Stahlbau-Rundschau, Sonderheft zur Österr. Stahlbautagung 1955.
5. A. Hutter und A. Sulser: Beitrag zur Theorie und Konstruktion gepanzerter Druckschächte. Wasser- u. Energiewirtschaft 1947, Nr. 11/12.

⁶ Patentrechte in Österreich, Deutschland und anderen Ländern.

6. H. Juillard: Knickprobleme an geraden Stäben, Kreisbogensegmenten und Zylindern. Schweiz. Bauztg. 1952, H. 32.
 7. H. Kastner: Über die Bemessung von gepanzerten Druckschächten. Österr. Bauzeitschrift 6 (1951), H. 2 u. 3.
 8. H. Lauffer: Ein Gerät zur Ermittlung der Felsnachgiebigkeit für die Bemessung von Druckstollen- und Druckschachtauskleidungen. Geologie u. Bauwesen 25 (1960), H. 2/3.
 9. H. Lauffer und G. Seeber: Design and Control of Linings of Pressure Tunnels and Shafts, Based on Measurements of the Deformability of the Rock. 7. Internationaler Talsperrenkongreß 1961 in Rom, Bericht R. 91 zur Frage 25.
 10. H. Lauffer und G. Seeber: Die Bemessung von Druckstollen- und Druckschachtauskleidungen für Innendruck auf Grund von Felsdehnungsmessungen. Österr. Ing.-Zeitschr. 5 (1962), H. 2.
 11. R. Montel: Formule semi-empirique pour la détermination de la pression extérieure limite d'instabilité des conduites métalliques lisses noyées dans du béton. La Houille Blanche 1960, Nr. 5.
 12. L. Müller: Der Felsbau. Bd. 1. Verlag Ferd. Enke, Stuttgart 1963.
 13. G. Seeber: Auswertungen von statischen Felsdehnungsmessungen. Geologie und Bauwesen 26 (1961), H. 3.
 14. G. Seeber: Einige felsmechanische Meßergebnisse aus dem Druckschacht des Kaunertalkraftwerkes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Suppl. I, 1964.
 15. R. Troisvallets und R. Montel: Essais sur l'instabilité des conduites métalliques lisses noyées dans du béton et soumises à une pression extérieure. La Houille Blanche 1960, Nr. 4 u. 5.
 16. E. W. Vaughan: Steel Linings for Pressure Shafts in Solid Rock. ASCE-Proceedings, Paper 949, 1956.
-

Konstruktive Entwicklungen im Groß-Turbinenbau*)

Von F. Scheuer, Graz

Der Wasserturbinenbau hat nach einer pionierhaften Entwicklung vor allem auf dem Gebiet der Kaplan-turbinen lange Zeit mehr oder minder als konservativ gegolten. Die Materialnot der Kriegsjahre und neue Impulse haben in den letzten Jahrzehnten auch dieses Maschinenbauggebiet revolutioniert. Einerseits haben verbesserte Berechnungs- und Versuchsmethoden und Einrichtungen die hydraulische Entwicklung maßgeblich beeinflusst und bedeutende Fortschritte vor allem auf dem Gebiete der Wirkungsgrade und des Kavitationsverhaltens mit sich gebracht; andererseits ist es gerade in der Nachkriegszeit gelungen, eine Reihe funktioneller Veredelungen zu erzielen und neue Lösungen zu entwickeln, die nicht nur die Herstellung erleichtern, sondern in erster Linie auch das Betriebsverhalten — insbesondere die Regelfähigkeit der Kraftmaschinen — erhöhen.

Die Konstruktionsmaterialien — besonders Baustähle — haben ebenfalls eine ausschlaggebende Weiterentwicklung erfahren. So ist es dank der Entwicklung beruhigt vergossener Stähle und der Schaffung gut schweißbaren Materials mit vorzüglicher Alterungsbeständigkeit — also weitgehendem Schutz vor Versprödung — sowie mit guter Kaltverformbarkeit, ebenso wie durch die Verbesserung der Schweißmethoden und der zur Verwendung kommenden Elektroden gelungen, auch im Wasserturbinenbau der Schweißtechnik Eingang zu gewähren. — Der Ersatz von Gußkonstruktion durch Schweißkonstruktion brachte außer maßgeblichen Gewichtseinsparungen die Möglichkeit, unter geringem Ausschuß-Risiko Werkstücke von bisher nicht bewältigbarer Baugröße herzustellen.

Derart war die Möglichkeit geschaffen worden, Baudimensionen und damit Leistungsgrößen der Maschinen zu verwirklichen, wie sie vor dem Kriege noch nicht in Frage gekommen waren.

Der Wasserturbinenbau hat in den letzten zwei Jahrzehnten sohin mehrere Entwicklungsrichtungen klar zu erkennen gegeben:

In hydraulischer Hinsicht die Verbesserung der Wirkungsgrade. Dabei geht es sowohl um die absolute Höhe der Wirkungsgradspitzen, als auch um Verflachung der Wirkungsgradkurven in Richtung nach Teillast und Hochlast.

Weitere hydraulische Entwicklungsarbeiten galten der Verbesserung der Kavitationseigenschaften: Diese bestimmen nicht nur

die Lebensdauer, sondern bei Überdruckturbinen auch die Höhenlage des Turbinenlaufrades, bezogen auf den Unterwasserspiegel. Sie haben solcherart auf den Bauaufwand einen unmittelbaren Einfluß.

Die Verbesserung der Kavitationsbeiwerte ergibt die Verwendungsmöglichkeit der einzelnen Turbinentypen für die Beherrschung immer größerer Fallhöhen und höherer Drehzahlen. Mit der Erhöhung der absoluten Drehzahl verbunden ist die bauliche Verkleinerung der dazugehörigen Generatoren und damit des Maschinenhauses.

Gleichzeitig wurde die konstruktive Verbesserung einzelner Elemente und Gruppen angestrebt. Es ging um wirtschaftlichere Lösungen und um die Bewältigung der immer größer werdenden Dimensionen.

Im einzelnen kann berichtet werden:

Die Peltonturbinen haben für die Düsen- und Becherformgebung schon vor Jahren optimale Lösungen erhalten.

Zur hydraulischen Verbesserung führten weitere Einsichten über die günstige Führung der Düsenrohre und die günstige Raumgestaltung und Belüftung der Gehäuse:

Die seit längerem bekannte Unterbringung des Nadel servomotors im Nabenstück des Führungskreuzes zur Düsenadel setzt sich immer mehr durch. Der Vorteil dieser Konstruktion liegt darin, daß die Strömung nicht mehr unmittelbar vor der Düse durch die von außen her bewegte Nadelstange durchquert wird.

Die ursprünglich mit dieser Konstruktion verbundenen Schwierigkeiten hinsichtlich der Dichtung und Stabilität der Nadelsteuerung und der flatterfreien Ruhestellung der Nadel in verschiedenen Öffnungsbereichen können heute als gelöst bezeichnet werden.

Peltonturbinen mit vertikaler Welle bieten sich vor allem dort an, wo sie ähnlich der Anordnung im Kraftwerk Lünensee mit Speicher-pumpen kombiniert sind.

Es hat sich gezeigt, daß der Wirkungsgrad solcher Vertikalmaschinen mit der Zahl der Düsen steigt. Auch sinkt die Durchgangsdrehzahl mit zunehmender Düsenzahl um bis zu 7%.

Die heute gemeinhin erreichbaren oberen Wirkungsgrade liegen bei 90—91%. Die höchsten zur Zeit in einer Kraftwerksstufe bewältigten Fallhöhen betragen etwa 2000 m.

*) Dieser Bericht ist ein Auszug aus dem gleich betitelten Vortrag des Verfassers, gehalten anläßlich der Stahlbautagung, Linz 1965.

Ein Beispiel für heutige Leistungsmaxima gibt die im Bau befindliche Anlage Mont Cenis. Ihre sechsdüsigen Vertikalmaschinen mit 4 m Strahlkreisdurchmesser und mit einer Leistung von je 270 000 PS weisen wohl auf die heute erreichte obere Leistungsgrenze für Peltonturbinen hin.

Vielseitiger zeigten sich die Entwicklungen bei Francisturbinen:

Zunächst einiges über die Verbesserung der Kavitationseigenschaften und der Wirkungsgrade: Vor Jahren wurde bereits in der Steiermark in der Anlage Hieflau ein Turbinenwirkungsgrad von 94 % nachgewiesen. Es liegen aus dem westlichen Wirtschaftsbereich Nachrichten vor über aufgewertete Modell-Turbinenwirkungsgrade von 95—96 %!

Die außerordentliche Wirkungsgraderhöhung erklärt sich aus den jüngsten Fallhöhen- und Größentwicklungen:

Ehe auf die Dimensionsproblematik eingegangen wird, erfolge eine Kurzdarlegung der Entwicklung von Francisturbinen für große Fallhöhen:

So weisen zum Beispiel die Anlagen Fionnay und Ferrera Fallhöhen von 460—530 m auf, die Anlagen Hemsil und Urtal je 510 m.

Neuerdings werden einstufige Francisturbinen für 650 m Nutzfalhöhe geplant.

Bei Fallhöhen über 500 m macht die Unterbringung der starken Wellen bereits konstruktive Schwierigkeiten. Dasselbe gilt von der notwendigen Steifigkeit gegen elastische Deformationen in Deckel und Leitapparat. Besondere Aufmerksamkeit erfordern die Panzerung der Leitapparate und Spaltzonen und insbesondere

die Leitschaufeln selbst, da neben der großen Beanspruchung durch die hohen Drücke die Spaltkavitation eine außerordentliche Rolle spielt. Die Forderung nach engen Spalten verschärft den Anspruch auf Beherrschung der elastischen Deformationen von Deckel und Leitschaufeln. Dazu kommen die sehr hohen Verstellmomente, die über eine durch die dicke Welle und den kleinen Leitschaufel-Teilkreis platzbeengte Kinematik von den Servomotoren her auf die Leitschaufeln übertragen werden müssen.

Schließlich zeigen sich für die Wahl einstufiger Hochdruck-Turbinen auch Schwierigkeiten im Laufrad selbst: Um die extrem hohen Wirkungsgrade zu erreichen und die bei den hohen Geschwindigkeiten an sich sehr schädlichen Ablösungen infolge von Ausführungs-Ungenauigkeit zu verhindern, ist es notwendig, die mit abnehmender spezifischer Drehzahl immer länger werdenden und engen Schaufelkanäle hinsichtlich Form und Oberfläche auf das sorgfältigste zu bearbeiten.

Erhebliche Entwicklungserfolge zeitigte die Ausbildung der Entlastungsspalte zwischen Laufrad und Gehäuse: Es ist gelungen, eine selbstzentrierende Wirkung herbeizuführen. Sie hilft mit, den Lauf der Maschine ruhig zu gestalten und die letzten Drosselspalten zugunsten kleinerer Spaltwassermengen zu verengen. Ebenso kann man durch entsprechende Auslegung der Saug- und oberseitigen Drosselspalte den hohen Axialschub des Laufrades ganz oder teilweise kompensieren und so die Spurlager entlasten.

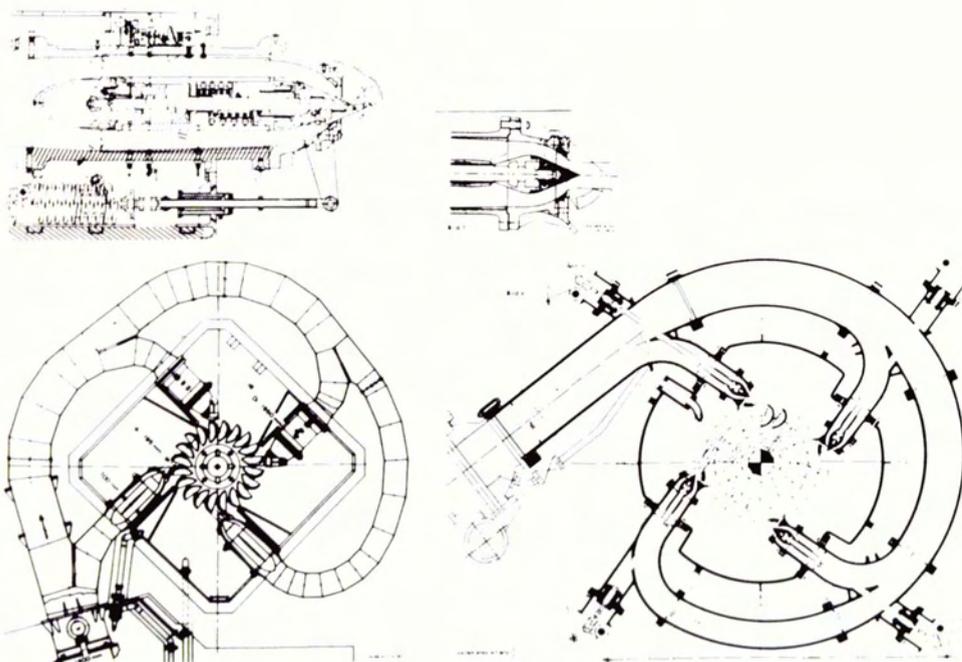


Bild 1: Vertikale Peltonturbinen-Entwicklung

Fig. 1: Development of vertical Pelton turbines (Andritz 1503)

Die Hochdruck-Francisturbine weist trotz ihrer größeren Erosionsgefährdung, also Beschränkung auf relativ reine Gewässer, gegenüber der Peltonturbine mehrere Vorteile auf: so vor allem den der höheren Absolutdrehzahl: Daraus ergeben sich kompensierte Ausführungen, sowohl von den Turbinen als insbesondere vom Generator.

Weiters kann bei der Francisturbine die Fallhöhe zur Gänze ausgenutzt werden, während eine Peltonturbine eine entsprechende Freifallhöhe zwischen dem untersten Punkt des Strahlkreisdurchmessers und dem höchsten Abfließwasserspiegel benötigt.

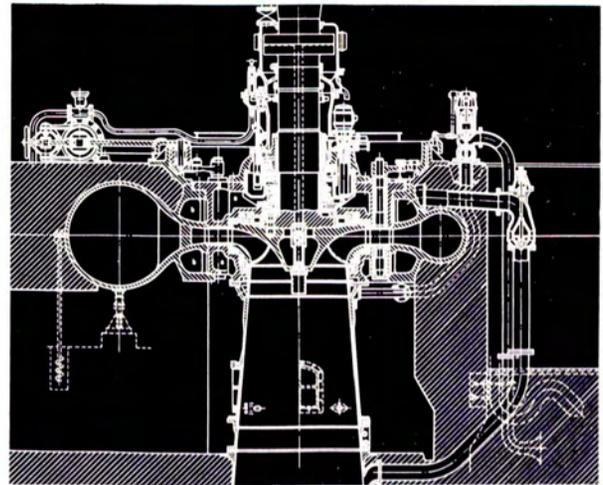


Bild 3: Hochdruck-Francisturbine, Kraftwerk Fionnay (Werksbild Escher Wyss)

Fig. 3: Francis type high pressure turbine, Fionnay Power Station (Escher Wyss works photograph)

Der bei Teil- und Überbeaufschlagungen sehr nachträglich wirkende Austrittsdrall wird auf diese Weise in einem breiten Bereich eliminiert oder verringert.

Dadurch wird die Francisturbine auch für einen größeren Regulierbereich günstig anwendbar und erfährt schließlich eine verbesserte Eignung für den Reversierbetrieb!

Bild 4: Entwicklung der Maschinenleistung von Pelton-, Francis- und Kaplan turbinen

Fig. 4: Development of machine outputs of Pelton, Francis and Kaplan turbines (Andritz 1500)

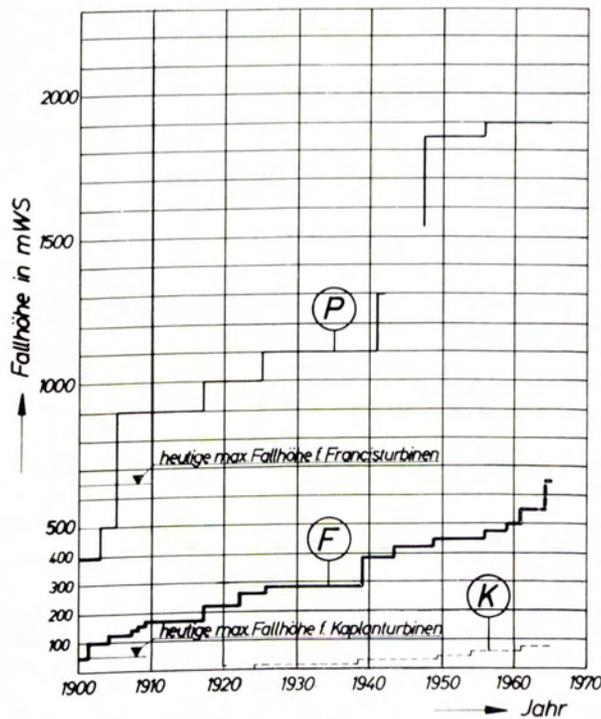
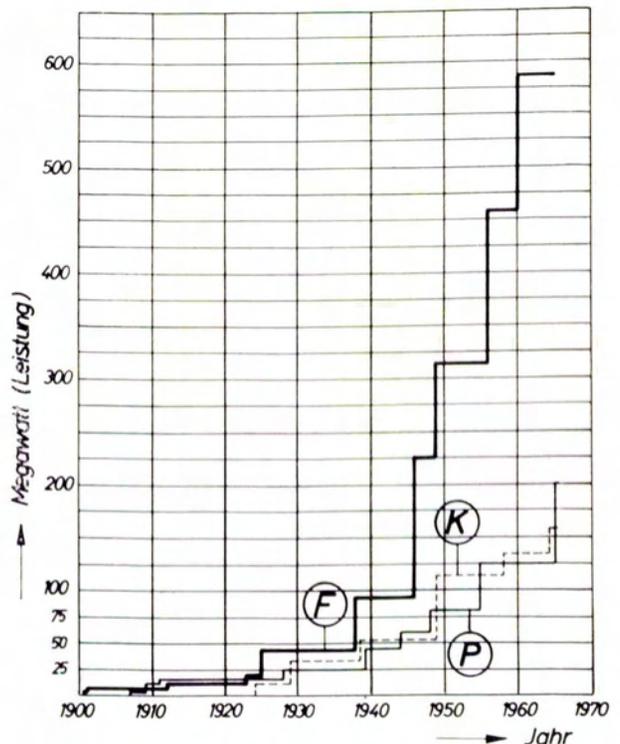


Bild 2: Entwicklung der Größt-Fallhöhen für Pelton-, Francis- und Kaplan turbinen

Fig. 2: Development of maximum net heads for turbines of Pelton, Francis and Kaplan types (Andritz 1499)

Schließlich gestattet die Hochdruck-Francisturbine die Verarbeitung größerer Wassermengen in einer Einheit und damit die wirtschaftlichere Ausstattung eines Kraftwerkes mit wenigen Maschinen hoher Leistung.

Eine weitere qualitative Neuentwicklung, die in steigendem Maß zur Anwendung kommt, stellt die Ausführung von Francis-Laufrädern mittlerer spezifischer Drehzahl und zur Maschinen-Achse schräger Meridian-Entwicklung dar, bei welchen die Schaufeln, im Mechanismus ähnlich dem Kaplanlaufrad, verstellbar sind.



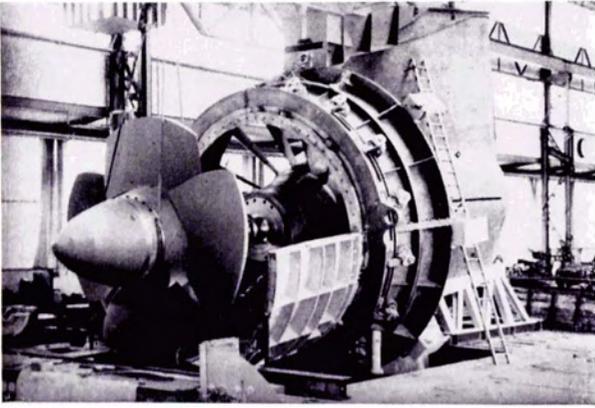


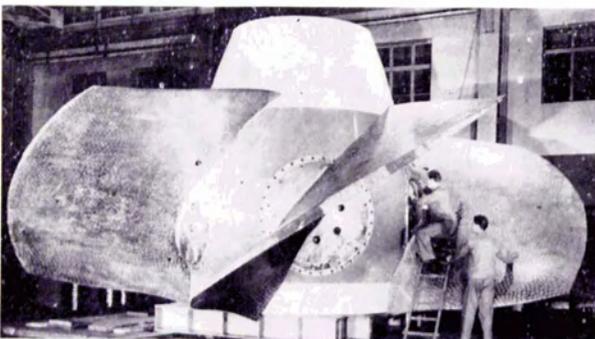
Bild 5: 6000-PS-Rohrturbine für Anlage Trier in Werksmontage (im Hintergrund ist das Stahlgehäuse erkennbar) (Werkfoto Escher Wyss)

Fig. 5: 6000 HP tubular turbine for Trier Power Station during assembly at works (with the steel casing being recognizable in the background) (Escher Wyss works photograph)

Eine Sonderausführung gewinnt von Jahr zu Jahr höhere Bedeutung: Es handelt sich um die Pumpturbine. Diese ist eine Maschine, welche sowohl geeignet ist, im Turbinenbetrieb zu arbeiten, als auch im gegensätzlichen Sinn motorisch angetrieben als Pumpe zu wirken. Die anfänglichen Schwierigkeiten bei solchen seit etwa 10 Jahren in Entwicklung befindlichen Reversiermaschinen lagen vor allem darin, daß hydraulisch gesehen der Turbinenbetrieb nicht den zum Pumpenbetrieb inversen Strömungsverlauf aufweist und weiters, weil die Einströmverfälschung der für den anderen Betrieb als Abströmzone wirkenden Schaufelteile wirkungsgrad- und kavitationsverschlechternd wirken. Schließlich liegen die Wirkungsgradoptima der beiden Funktionsarten in verschiedenen Drehzahlbereichen.

Bild 6: Laufrad mit 8400 mm Durchmesser für 100 000 PS Kaplan turbine für das Kraftwerk Aschach der DoKW in Werksmontage (Werkfoto Andritz-Escher Wyss)

Fig. 6: Runner of 8400 mm diameter for a 100 000 HP Kaplan turbine for the Aschach Power Station of Messrs. DoKW (Danube Power Company) during assembly at works (Andritz-Escher Wyss works photograph 29494)



So blieb anfänglich nichts anderes übrig, als daß man für jene Betriebsform, welche nur kurzfristig zur Anwendung kommt, ungünstigere Wirkungsgrade zuließ, um in der gegenteiligen Betriebsform im Bereich des Optimums fahren zu können. Oder man fuhr mit verschiedenen Drehzahlen.

Die hydraulische Entwicklung an sich und insbesondere die Verwendung von Laufrädern mit beweglichen Turbinenaustritts- bzw. Pumpeneintrittsteilen der Schaufeln, wie sie zum Beispiel die Deriaz turbine aufweist, verbesserten die Situation maßgeblich.

Bei der zunehmenden energiewirtschaftlichen Wichtigkeit des Pumpspeicherbetriebes gewinnt auch die Pumpturbine außerordentlich an Bedeutung. Es laufen heute schon solche Maschinen mit Maximalleistungen von über 120 MW.

Die bisherige Entwicklung bezieht sich hierbei vornehmlich auf mittlere Förderhöhen bzw. auf Fallhöhenbereiche zwischen 60 und 200 m Wassersäule, doch ist sie im Fortschritt gegen noch höhere Wirkungsbereiche begriffen. Für North Devon sind zwei solche Pumpgruppen für 200 m Förderhöhe und je 300 MW Antriebsleistung geplant.

Wie aus den Diagrammen 2 und 4 ersichtlich ist, haben die Francisturbinen sowohl durch ihr Vorrücken in das Gebiet der großen Fallhöhen einen Teil des bislang den Freistrahlturbinen vorbehaltenen Ausnutzungsbereiches erobert, als auch in den letzten 10 Jahren ganz erhebliche Leistungserhöhungen erfahren, für welche einige willkürlich gewählte Beispiele gegeben werden:

Seitevare am Lilla-Lule-Älv in Schweden: 1 Francisturbine für 180,5 m Maximalfallhöhe, 120 m³/sek Schluckvermögen, einer Maximalleistung von 220 MW an der Turbinenwelle. Das geschweißte Turbinenlaufrad hat einen Austrittsdurchmesser von 3700 mm.

Hamilton Falls in Canada hat Maschinen mit Einheitsleistungen von 455 MW und Laufraddurchmesser von 5500 bzw. 6000 mm.

Das Kraftwerk Ust-Illin an der Angara ist für 10 Aggregate je 460 MW generatorisch geplant; die Nettofallhöhe beträgt hier 107 m und die Laufradaustrittsdurchmesser 7500 mm.

Laufräder der genannten Größen können aus Gewichts- und Transport-Lichtraumprofilgründen nur mehr in Teilen transportiert werden und müssen an Ort und Stelle fertig zusammengesetzt, verschraubt und verschweißt werden.

Hier kann darauf hingewiesen werden, daß der Wasserturbinenbau leistungsmäßig die Größenordnung der thermischen Höchstleistungseinheiten erreicht hat.

Ähnliche Entwicklungserfolge wurden auch auf dem Teilgebiet der Kaplan turbinen gezeitigt:

Zunächst einiges über die Kaplan-Rohrturbine (vornehmlich mit waagrechter oder schräger Maschinenachse):

Maßgebliche Unterschiede gegenüber der klassischen Vertikalmaschine, aber auch zwischen den verschiedenen Rohrturbinentypen finden sich in der Gestaltung der Triebwasserführung und der Umhausung des Turbinen- bzw. Generator-Innenraumes. Mit wachsender Größe rückt der Ersatz der aus Stahl gefertigten U-Boot- oder pfeilerförmigen Innen-Umhausungen durch Betongehäuse vor. So zeigen sowohl französische Anlagen, als insbesondere die großen russischen Anlagen am Dnjepr, reine Betonbauten als innere Triebwasserführung.

Die besondere Teilentwicklung dieser Turbinenart zum Einsatz in Ebbe- und Flutkraftwerken gilt der hydraulisch günstigen Ausbildung für Durchströmung in zwei Richtungen:

Hier gibt es auch Varianten mit zwei Laufrädern, von welchen abwechselnd das eine für den Turbinenbetrieb und das andere für Pumpenbetrieb beaufschlagt wird und umgekehrt. Das jeweils stillgesetzte Laufrad dient als Regulierorgan ähnlich einem axialen Leitapparat.

Andere Ausführungen weisen Laufräder auf mit sich nicht überdeckenden Aus- und Eintrittskanten der Schaufeln, welche geeignet sind, für den Betriebsfall „freier Durchlauf des Wassers“, strömungsparallel gedreht zu werden. Für Durchströmung in der Gegenrichtung können diese Schaufeln ganz durchgeschwenkt werden. Die Schaufeln selbst müssen daher praktisch profilsymmetrisch ausgeführt werden; dies mindert freilich etwas den hydraulischen Wirkungsgrad.

Die leistungsstärksten zur Zeit bekannten Rohrturbinen sind für ein Wolgakraftwerk geplant, wo Prototyp-Einheiten mit Leistungen bis 45 000 kVA aufgebaut werden!

Der Entwicklungstrend der Kaplanturbinen mit vertikaler Welle nach den Betriebsgebieten mit großer Fallhöhe hin bringt nicht nur dem Hydrauliker neue Aufgaben, sondern auch dem Konstrukteur.

Als Beispiele für Hochdruck-Kaplanturbinen seien die Maschinen für die Anlage Barcis für Fallhöhen bis 63,5 m und jene von Orlik in der CSSR für 73 m Fallhöhe genannt. Für den Fallhöhenbereich unter 60 m gibt es bereits eine große Zahl von Referenzen verschiedenen Fabrikates.

Die Vorteile derartiger Maschinen liegen darin, daß sie einen außerordentlich weiten Fallhöhenbereich ebenso, wie einen solchen von großen Belastungsschwankungen mit besten Wirkungsgraden beherrschen lassen.

Mit wachsender Maschinengröße und Fallhöhe wird die Ausbildung des Laufrades schwieriger. Es gilt, die außerordentlich erhöhten Stellkräfte mit genügender Sicherheit zu bewältigen, und den zusätzlichen Beanspruchungen zu begegnen, welche bei Durchgang der Maschine durch die Fliehkraftwirkung insonderheit auf die Schaufeln ausgeübt werden.

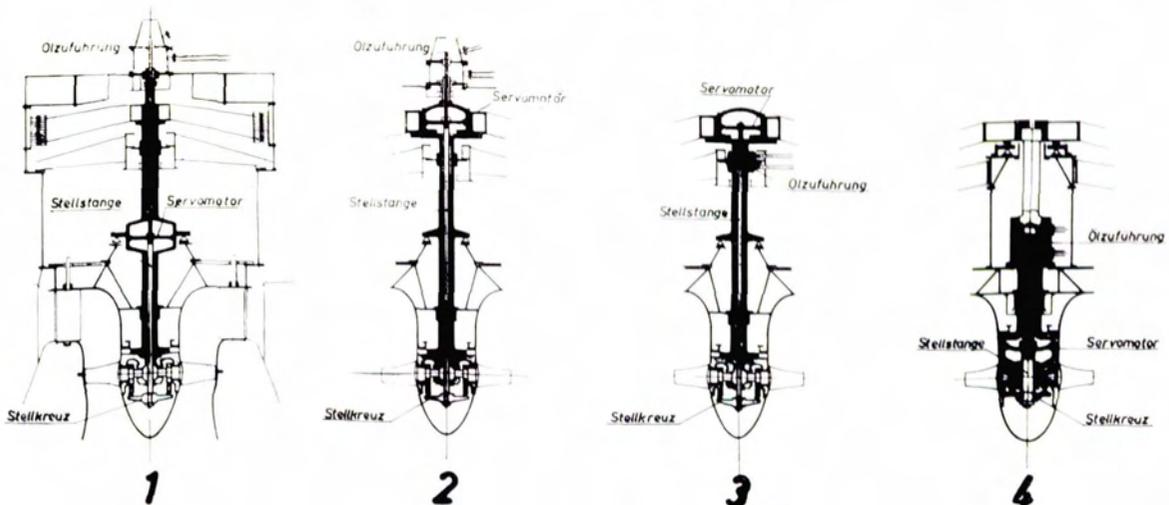
Da andererseits durch die Erhöhung der zu übertragenden Drehmomente die Wellendurchmesser ansteigen, ergeben sich Platz- und Zugänglichkeitsschwierigkeiten für die Wellendichtung und die Führungslager.

Ein anderer Aufgabenbereich für den Konstrukteur ist die mechanische Ausstattung der Turbinen:

Die baulich bedingte Verlängerung der Wellen erschwerte und verteuerte deren Hohlbohrung zur Aufnahme der Verstellstange, welche den Verstell-Servomotor mit dem Verstellmechanismus zu den Laufradschaufeln verbindet.

Bild 7: Anordnungsentwicklung von Ölzuführung und Laufradservomotor bei Kaplanturbinen

Fig. 7: Development of arrangements of oil feeds and runner operating servo-motors for Kaplan turbines (Andritz 1495)



Zwangsläufig verbunden mit diesem Problem ist aber auch die Frage der Zuführung des Steuer- bzw. Regulierdrucköles zum Verstell-Servomotor und seine Rückleitung zum Turbinenregler: Der Verstell-Servomotor ist schon seit vielen Jahren in die Nabe des Generatorrotors verlegt worden. Bei länger werdender Welle wurde aber die Ausführung der zug- und knickfesten Verstellstange, die den Kolben des Servomotors mit dem Stellkreuz zum Reguliermechanismus in der Laufradnabe verbindet, immer schwieriger.

Die Anordnung des Servomotors in der unteren Laufradhälfte bietet den Vorteil, daß er im Revisionsfall nach Abnehmen der Laufradhaube freiliegt. Eine Anwendungsgrenze wird durch den Umstand bestimmt, daß man wegen der Dichtungsschwierigkeiten an großen Durchmessern mit dem Regulieröl Druck nicht gerne zu hoch geht. Für normale Regulieröl drücke zwischen etwa 30 und 45 Atmosphären ergeben sich aber Servomotorgrößen, die in der Laufradnabe nur schwer oder gar nicht untergebracht werden können.

Die klassische Ausführung der Ölzuführung ist die mit einer Zuführungskonstruktion über dem Generator bzw. der Erregermaschine; diese Ausführung wirkt sich jedoch insofern nachteilig aus, als Lecköl oder Lecköldämpfe in den Generator eindringen. Bei Kombination der Ölzuführung mit dem oberen Führungslager befindet sich die gesamte Ölwirtschaft unterhalb des Generators und muß auch nicht abgebaut werden, wenn etwa bei der Erregermaschine eine Revision vorgenommen werden muß.

Allerjüngste Entwicklungen, wie zum Beispiel an unseren Anlagen Gralla und Krippau, zeigen die Anordnung eines eigenen Ölzuführungsringes über dem unteren Führungslager. Damit sind nicht

nur alle genannten Schwierigkeiten behoben, sondern es ist auch bewirkt, daß die Wellenbohrung mit kleinerem Durchmesser und von kurzer Tiefe ausgeführt werden kann.

Aus der Fülle der Neuentwicklungen für Kaplan-turbinen wie für Francisturbinen großer Baudimensionen sei noch kurz auf die Modernisierung der Leitapparatregulierung hingewiesen.

Man war noch vor wenigen Jahren gewohnt, den Fink'schen Leitapparat über Leitschaufelhebel und Lenker durch einen Regulierring zu verstellen, an welchem die Drucköl-Servomotoren über Laschen oder Stellstangen exzentrisch angriffen.

Um eine ausreichend gleichmäßige und gleichartige Verstellung aller im Kreisring angeordneten Leitschaufeln zu erwirken, mußten diese Regulierringe drehsteif und verwindungssteif ausgeführt werden.

Schon die Anordnung von Ring-Servomotoren gekrümmter Achse, wie zum Beispiel in Ybbs-Persenbeug, brachte eine maßgebliche Verbesserung mit sich.

Ein weiterer technischer Fortschritt, der außerdem die Übersichtlichkeit und Zugänglichkeit bestens erhöhte, war die Verlagerung aller Regulierkräfte, also der Mittel von Leitschaufelhebel, Lenker, Regulierorgane und Servomotor, in eine Ebene. Dies gestattete, anstelle eines aufwendigen Regulierendes eine glatte Regulierplatte anzuordnen.

Eine originelle Entwicklung zeigte sich auch in der Anordnung von Einzel-Servomotoren für jede Leitschaufel:

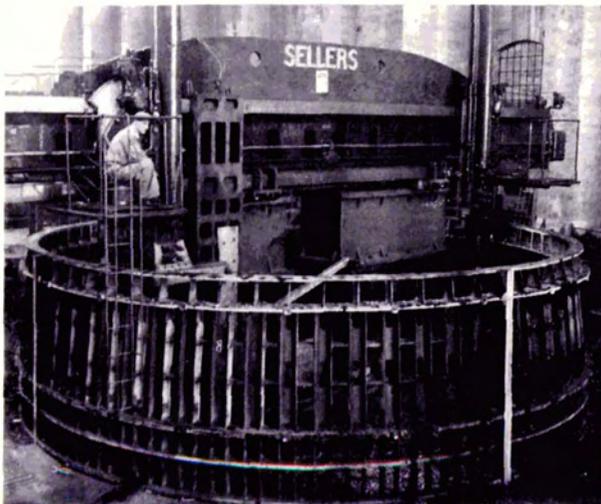
Diese Einzel-Servomotoren können entweder geradachsig ausgeführt und über Lenker und Hebel wirksam gemacht oder aber auch als Dreh-Servomotoren direkt auf die Schaufelschäfte aufgesetzt werden.

Die bereits eingangs erwähnte Bedeutung der Schweißkonstruktion sei an einigen Beispielen erläutert. Als Gesamterfolg kann auf eine Maschine mit rund 4,5 m Laufraddurchmesser verwiesen werden, welche im Jahre 1951 zu 48 Gewichtsprozenten aus Gußeisenteilen geliefert wurde. Eine gleich große Maschine beinhaltet 10 Jahre später nur mehr 7,5% Gußeisenteile, alles übrige war durch Schweißkonstruktion ersetzt worden: insbesondere die Stützkonstruktion (Vorleitapparat), der Turbinendeckel und der bishin aus rostfreiem Material gegossene Laufradmantel.

Die Herstellung des Turbinendeckels in Schweißkonstruktion hatte eine außerordentliche Verringerung von Ausschußrisiko und Transportgewicht zur Folge. Der aus Steifigkeitsgründen in beiden Fällen zu wählende Zellaufbau bringt bei der Gußkonstruktion an den Übergängen der Versteifungen zu den ebenen und tubusförmigen Mantelteilen sehr hohe Gefahr durch Steigerungen und Schwindrisse; auch ist das Putzen außerordentlich schwierig. Die Schweißkonstruktion ermöglicht bei sinngemäßer Ausbildung eine voll-

Bild 8: Korb eines geschweißten Laufradmantels für eine Kaplan-turbine bei der Bearbeitung

Fig. 8: Frame of a welded throat ring for a Kaplan turbine during machining (Andritz 3445)



ständige Eliminierung dieser Gefahren. Freilich sind ausgeklügelte Schweißprogramme nötig, um Verzüge, vor allem auch nach der Bearbeitung, zu vermeiden; auch neigt die Schweißkonstruktion mehr zur Geräuschverstärkung als die schwingungsdämpfende Gußkonstruktion, doch kann man dem etwa durch Sandfüllungen oder Verlegung von Ölwanne in den Deckelhohlkörper erfolgreich begegnen.

Der Ersatz der kostspieligen Gußherstellung des in seinem kavitationsgefährdeten Teil rostfrei auszubildenden Laufradmantels durch Schweißkonstruktion bringt erhebliche Ersparungen sowohl im Materialaufwand als auch an Zerspanungsarbeiten: mit Rücksicht auf das „Aufgehen“ des Gusses sind bei gegossenen Mänteln große Bearbeitungszugaben vorgesehen, die einen erhöhten Zerspannungsaufwand zur Folge haben. Wie aus dem Bild ersichtlich, kann bei Schweißkonstruktionen ein versteifender und die sehr wichtige Bindung mit dem Beton verbessernde Korb hergestellt werden, welcher mit formgepreßten Kugel- oder Zylindermantelteilen belegt wird. Auch hier ist ein sorgfältig durchzuführendes Schweißprogramm die Voraussetzung zur Vermeidung von Verzügen, ja Einrissen. Immerhin war es möglich, beispielsweise Laufradmäntel für 5,3 m Durchmesser mit einer Rohtoleranz von 2,5 mm herzustellen, wodurch die Zerspanungsarbeit verringert und der Materialaufwand knapper gehalten werden konnte.

Ein interessantes Beispiel für Ersatz der bislang üblichen Stahlgußherstellung durch Schweißkonstruktion bilden die Leitschaufeln. Von verschiedenen Möglichkeiten sei auf jene hingewiesen, bei welcher das Dreh- und Biegemoment durch einen vorgeschmiedeten Schaft aufgenommen wird, an welchem ein Spantengerippe angeschweißt ist; letzteres wird mit Blechplatten belegt, die entsprechend dem Strömungsprofil vorgepreßt sind. Sorgfältige Schweißnahtprüfungen und richtig angesetzte Glühvorgänge sind hier wie bei einem Teil der vorgenannten Beispiele notwendig.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß große Kaplan- und Francisturbinenwellen, deren Herstellung aus Stahlblöcken von 100 und mehr Tonnen sowohl guß- wie auch schweißtechnisch große Schwierigkeiten bereiten, versuchsweise bereits in Schweißkonstruktion ausgeführt wurden. Aus Stahlblech gerollte oder vorgeschmiedete Einzelteile werden in einem sich wiederholenden Vorbearbeitungs-Schweiß- und Glühvorgang zu einem ganzen Stück zusammengesetzt.

Es fehlt auch nicht an Versuchen, Francis- und Kaplansturbinenräder extremer Größe als Ganzes oder in Einzelteilen zu schweißen.

Mit den angeführten Beispielen will lediglich der Hinweis belegt werden, daß die in Zukunft immer interessanter werdende Dimensionsvergrößerung, die sich aus Herstellungs-, Transport- und Montagegründen immer mehr der Gußkonstruktion entzieht, durch die sich verbessernde Materialbereitstellung und Technologie des Schweißens ermöglicht wird.

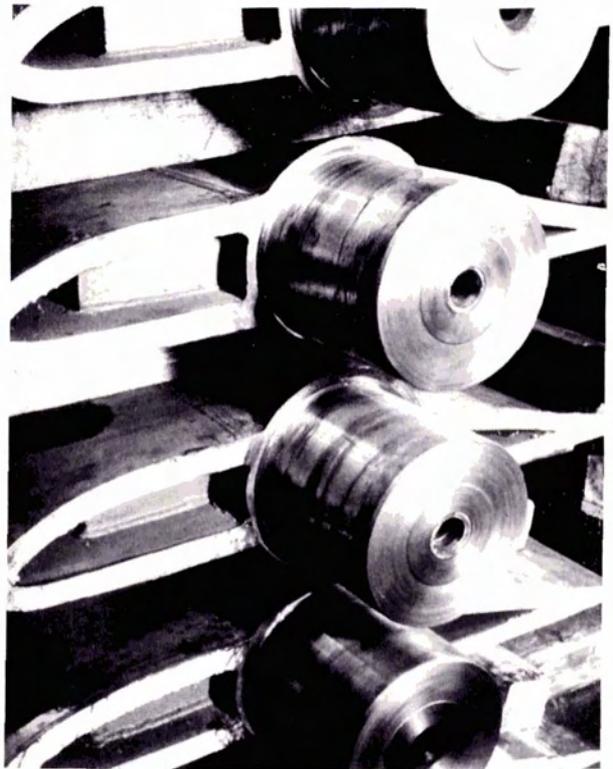


Bild 9: Leitschaufel, geschweißt: Zapfen, Spanten und Blätter erkennbar

Fig. 9: Guide vane, welded: journal, ribs and shell plates noticeable (Andritz 1120)

Literaturverzeichnis

- C. L. Battegay und Dr. H. Cardinal v. Widdern, Ravensburg: „Rohrturbinen“, Escher Wyss Nachrichten 1965
 Energy International: „UdSSR“, Progress in Power
 E. Faral B. Favez, G. Ruelle: „Die Anwendung von Maschinensätzen mit Rohrturbinen in großen Wasserkraftwerken mit geringer Fallhöhe“, Cigre-Bericht 1962
 Hutarew, G. Dr. Ing., Prof., TH Stuttgart: „Wasserturbinen, Speicherpumpen und Wasserturbinen-Regler“, ZVDJ 1962, Nr. 22.
 Krimm N. Dipl.-Ing., St. Pölten: „Rohrturbinen“, ÖZE, 4. Jahrgang (1961), Heft 9
 Liebe E. Prof. Dr. Ing., Berlin: „Belüftung und Kühlung von Rohrgeneratoren“, ebendort
 Kuhn R. Dr. Ing., München: „Betonschacht anstelle einer Stahlbirne bei Rohrturbinen“, ebendort
 Merenda A. Dipl.-Ing. E. P. E., Directeur: „L'equipment des lasses duites“, im Bulletin Technique, Vevey 1965
 Oschantitzky R. Dipl.-Ing., München: „Direkt und über Getriebe angetriebene Rohrgeneratoren“, ebendort
 Pietsch W., München: „Der Einfluß der Rohrturbine auf die Gestaltung von Wasserkraftanlagen“, Elektrizitätswirtschaft, 61. Jahrgang, Heft 18, 20. IX. 1962
 Sequenz Prof. Dipl.-Ing. DDDr. H., Wien: „Das Gezeitenkraftwerk an der Rance-Mündung“, Elektrotechnik und Maschinenbau, 82. Jahrgang, Heft 3, März 1965
 Scheuer-Krebs, Graz: „Kaplanturbinen“, Druckschrift in Eigenherausgabe der MFA
 Scheuer-Sparowitz, Graz: „Aufbau, Fertigung und Montage der 100 000-PS-Kaplanturbinen des Kraftwerkes Aschach“, E. u. M., Wien, Heft 23, 24/1964
 „Die Sowjetunion heute“, Wochenzeitschrift 1963
 Thuss Dr. Ing. W., Heidenheim: „Hydraulisch bedingte Unterschiede zwischen Rohr- und Kaplanturbinen“, E.-Wirtschaft, 62. Jahrgang, Heft 4, 20. II. 1963
 Vador Louis Ing., Prof., Grenoble: „Turbinenbau für Gezeitenkraftwerke“, M. u. W., 12. Jahrgang, Heft 7/8
 sowie unter Benützung freundlicherweise zur Verfügung gestellter Firmen-Unterlagen der Firmen: Maschinenfabrik Andritz A.G., Escher Wyss, Neypric, Nohab, Riva und J. M. Voith A.G.

Dipl.-Ing. Dr. h. c. Friedrich Scheuer,
 Vorstandsmitglied der Maschinenfabrik
 Andritz A.G.

Historische Entwicklung, Aufgabenstellung und deren Lösung im Bau von Schleusen in Wasserstraßen

Von W. Roehle, Wien

Die Wasserstraßen

Ein Schiff besitzt gegenüber einem Landfahrzeug eine wesentlich größere Tragfähigkeit. Die natürliche Straße des Schiffes — der Fluß — ist vorhanden, sie muß nur den Schiffahrtserfordernissen entsprechend erhalten und ausgebaut werden. Durch künstliche Wasserstraßen — Kanäle — werden die Flußsysteme untereinander verbunden; es entsteht das Wasserstraßennetz. Auf einem solchen ist die Schiffahrt in der Lage, den Transport der Massengüter zwischen den Massenzentren — den Städten, Seehäfen und Industriegebieten — ohne Zwischentransporte anderer Verkehrsmittel, also ohne Umladen der Güter, wirtschaftlich durchzuführen.

Schon im Altertum wurden Schiffahrtskanäle gebaut. So wurde im Jahre 2000 v. Chr. mit dem Bau eines Kanales zwischen dem Roten Meer und dem Nil begonnen; Nebukadnezar erbaute vier Kanäle zwischen Euphrat und Tigris. Die Kanäle dienten damals auch dazu, große Gefälle in Flüssen durch Verlängerung der Flußstrecke zu mindern. Herodot berichtet von Kanalschlingen im Gebiet des Euphrat, die einen Ort dreimal berührten. Im Mittelalter wurden in den schiffbaren Flüssen Engstellen und Untiefen durch Aufstauung beseitigt. Die Überwindung der Staustelle war ein echtes Problem für die Schiffahrt. Die Lasten mußten auf ein unterhalb der Staustelle gelegenes Schiff umgeladen werden. Später ließ man bereits das entlastete Schiff über eine schiefe Ebene, über Rollen und Walzen, ähnlich unseren heutigen Heliganlagen, ins Unterwasser gleiten.

Die erste technisch interessante Lösung der Überwindung einer „Staustelle“ war die sogenannte Stecknitz-Fahrt bei Lübeck: Die talfahrenden Schiffe versammelten sich im Stauraum. Eine

Schiffahrtsöffnung im Stauwerk wurde freigegeben. Auf der sich zu Tal ergießenden Welle ritten die Schiffe über Untiefen hinweg zur nächsten Staustelle, wo sich derselbe Vorgang wiederholte. Würde man zwei dieser Sperren knapp hintereinander angeordnet haben, hätte man praktisch schon damals eine Schleuse erfunden. Dies geschah aber erst zwei Jahrhunderte später, im 15. Jahrhundert.

Die Schleuse ist die entscheidendste Erfindung auf dem Gebiet der Binnenschiffahrt und ermöglicht erst die Lösung vieler Probleme, die die Volkswirtschaftler und Politiker — aber auch Generäle — von den Projektierungs-Ingenieuren der Wasserstraßen unserer Zeit verlangen. Hiervon sollen die folgenden Ausführungen berichten.

Tabelle 1 zeigt den Anteil der Binnenschiffahrt am gesamten Verkehrsaufkommen. Aus der Tabelle ersieht man die große Dichte des Verkehrsnetzes in der BRD (m/km^2). Die geringere Verkehrsweglänge der Binnenschiffahrt pro Einwohner ist wiederum ein Ausdruck für die hohe Besiedlungsdichte des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland. Auf dem kleinen Wasserstraßennetz Deutschlands wurden im Jahre 1963 101 Mio. t, auf den vielfach größeren Verkehrsnetzen der UdSSR zirka 200 Mio. t und in den USA über 300 Mio. t befördert.

Das Wasserstraßennetz der USA

Das „pazifische“ System (Westküste) hat für die Binnenschiffahrt der USA keine große Bedeutung. Der Ausbau des Columbia- und Snake-Rivers zur Nutzung der Wasserkräfte machte die Errichtung der derzeit größten Schleusenbauten unserer Zeit notwendig:

Tabelle 1: Verkehrswege in den USA, der UdSSR und der Bundesrepublik Deutschland

	USA			UdSSR			BRD		
	km	m pro km^2	m pro Einw.	km	m pro km^2	m pro Einw.	km	m pro km^2	m pro Einw.
Eisenbahn	353 000	38	2	121 000	5,4	0,60	35 000	144	0,67
Binnenschiffahrt	48 000	5	0,26	132 800	6	0,63	4 300	18	0,08
Lkw-Straßen	1 053 000	109	6	225 700	10	1	133 000	536	2,5

Tabelle 2: Schifffahrt und Krafterzeugung an den Staustufen der Columbia-Snake-Wasserstraße

Fertigstellung	Anlage	Schleusenabmessungen			Installierte Leistung Endausb. MW
		Breite m	Länge m	Max. Hub m	
1938	Bonneville	23,2	153	20,1	518
1957	The Dalles	26,2	206	27,6	1 743
1968	John Day	26,2	206	34,4	2 700
1953	McNary	26,2	206	28,0 ¹⁾	980
1962	Ice Harbour	26,2	206	31,4	540
1967	Lower Monumental	26,2	206	31,4	810
1969	Little Goose	26,2	206	30,8	810
—	Lower Granite	26,2	206	32,0	810

Das Flußgebiet des Mississippi mit seinen Nebenflüssen, dem Missouri, dem Illinois, dem Ohio, dem Tennessee, dem Arkansas- und Redriver umfaßt mehr als zwei Drittel der Gesamtlänge des atlantischen Systems der Binnenwasserstraßen (Bild 1). Durch den Ohio und den Tennessee sind die größten Industriezentren des Nordostens mit den Häfen des Golfs von Mexiko verbunden. Der geplante Ausbau des Kanals von Pittsburgh zum Eriesee und damit zum St.-Lorenz-Seeweg, wobei 15 Schleusen zur Ausführung kommen, wird es Seeschiffen ermöglichen, quer durch den Kontinent auf Binnenwasserstraßen zum Golf zu fahren.

Der atlantische Küstenkanal und der Golfküstenkanal verbindet die Seehäfen der Küsten untereinander und stellt mit den bis zu 100 km ins Landesinnere reichenden Stichkanälen ein bedeutendes Wasserstraßennetz dar. Die Gefahren der Küstenschifffahrt sind hier ausgeschaltet. Die Verbindung der beiden Küstenwasserstraßen ist geplant, aber noch nicht vollendet. Über den Hudson und den State-Kanal ist eine Verbindung von New York mit dem St.-Lorenz-Seeweg hergestellt. Der St.-Lorenz-Seeweg ist nach dem Panamakanal und Suezkanal die bedeutendste von Seeschiffen befahrbare Binnenwasserstraße.

Das Wasserstraßennetz in der UdSSR

Das russische Wasserstraßennetz (Bild 2) ist gekennzeichnet durch die Verbindung der Hauptstadt mit den an Rußland angrenzenden fünf Meeren: Baltisches Meer (Ostsee), Weißes Meer, Kaspisches Meer, Asowsches Meer und Schwarzes Meer. Die Hauptader dieses Systems ist die Wolga, Europas größter Fluß. Die Nutzung der Wasserkräfte dieses Flusses führte zum Ausbau gigantischer Kraftwerksanlagen und riesiger Staueisen. Die Größe dieser Staueisen und der hierdurch auf ihnen herrschende Wellengang verhindert die Anwendung des amerikanischen, hochentwickelten Schubschiffahrtssystems und machte Neukonstruktionen notwendig. Das vor kurzem fertiggestellte Tichwiner-Kanalsystem stellt die direkte Verbindung Leningrads mit der Wolga her. Über den bei Wolgograd (Stalingrad) beginnenden Wolga-Don-Kanal ist es bereits möglich, 5000-t-Seeschiffe quer durch Rußland, von der Ostsee bis zum Schwarzen Meer, zu transportieren. Das zweite bedeutende Wasserstraßensystem wird durch den



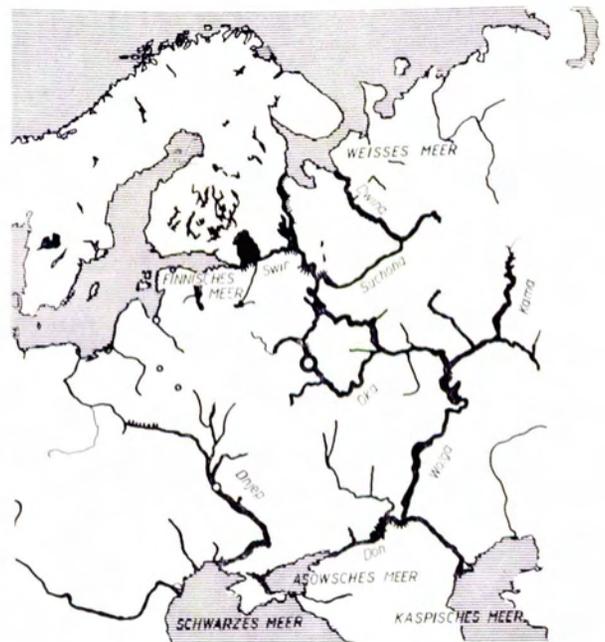
Bild 1: Das atlantische Wasserstraßensystem der USA

Fig. 1: The Atlantic water way system of the USA

Ausbau des Dnjestr geschaffen. Praktisch fertiggestellt ist der Ausbau von Odessa bis Kiew. Für Mitteleuropa interessant ist der Plan eines Kanals entlang dem Pripjet zu Bug, Weichsel und Oder mit Anschluß an den bestehenden Mittellandkanal.

Bild 2: Das Wasserstraßennetz in der UdSSR

Fig. 2: The water way net of the USSR



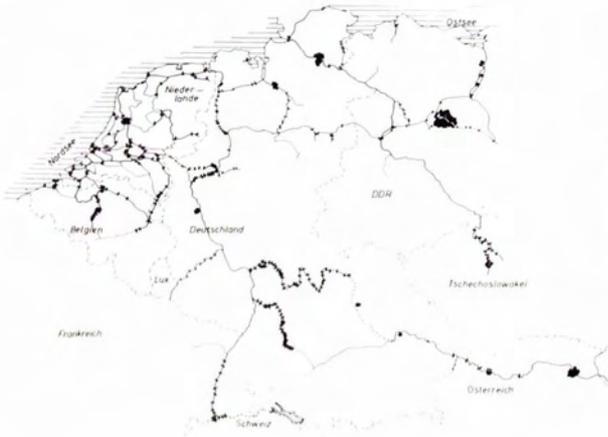


Bild 3: Das europäische Wasserstraßennetz

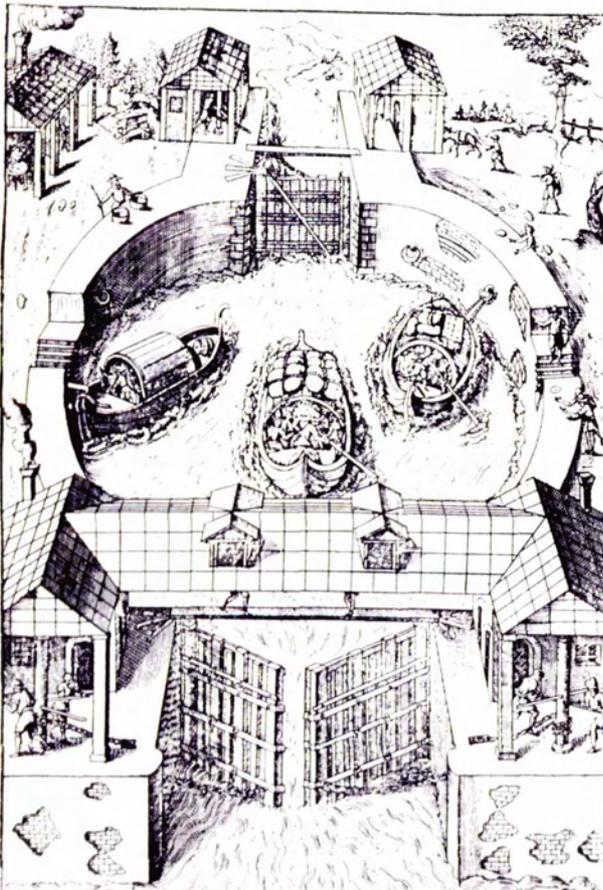
Fig. 3: The European water way net

Das europäische Wasserstraßensystem

Das europäische Wasserstraßennetz (Bild 3) ist gekennzeichnet durch den in Süd-Nord-Richtung fließenden Rhein. Der Ausbau des Unterrheins zwischen Bodensee und Karlsruhe ist im Gange.

Bild 4: Erste Darstellung einer Schleuse (1497)

Fig. 4: First illustration of a lock (1497)



Die Schleusen- und Kraftwerksanlagen am Elsässischen Kanal zwischen Basel und Straßburg und seiner nördlichen Verlängerung gehören zu den größten Anlagen ihrer Art in Europa. Durch den Mittellandkanal und die Kanäle im Industriegebiet werden die nach Norden strebenden Flüsse Oder, Elbe, Weser, Ems usw. und ebenso die an diesen Flüssen gelegenen Küstenhafenstädte wie Hamburg, Bremen, Emden mit den Industriegebieten an Rhein und Ruhr verbunden. Die Kapazität dieser Kanäle, insbesondere des Mittellandkanals, ist noch gering; ihr weiterer Ausbau ist daher erforderlich. In dem Zusammenhang wird eine Nord-Süd-Verbindung zwischen Elbe und Mittellandkanal auf westdeutschem Gebiet geplant.

Der in Durchführung begriffene Ausbau der Donau in Österreich und Jugoslawien (Eisernes Tor) zur modernen Kraftwasserstraße ist die Voraussetzung für die Verwirklichung einer echten Verbindung Rhein-Main-Donau, wie sie vielleicht schon in einem Jahrzehnt Wirklichkeit werden wird. Die geplante Nord-Süd-Verbindung der Staaten des Ostblocks, der Oder-Donau-Kanal, könnte die Vision eines Rundverkehrs mit Seeschiffen Ostsee—Wolga—Schwarzes Meer—Donau—Oder bzw. Donau—Main—Rhein—Nordsee—Ostsee verwirklichen.

Frankreich baut die westliche Nord-Süd-Verbindung von Marseille über Rhone, Saône, Maas und Antwerpen aus. Die Moselkanalisation ist eine der Querverbindungen dieses Systems zum Rhein.

Alle diese Wasserstraßensysteme bzw. der Ausbau schiffbarer Flüsse zur Nutzung der Wasserkräfte wäre ohne leistungsfähige Schleusen wirtschaftlich nicht möglich. Die Aufgabe ist somit gestellt: In welcher Form wurde sie seinerzeit gelöst, wie ist der heutige Stand der Technik des Schleusenbaues und welche Zukunftsmöglichkeiten bestehen? Dieser Fragenkomplex soll nun unter Berücksichtigung des Stahlwasserbaues behandelt werden; dies kann aber keineswegs erschöpfend geschehen.

Historische Entwicklung und heutiger Stand der Technik des Schleusenbaues Hebewerke und Schiffsaufzüge

a) Charakteristische Schleusenanlagen

Die erste Zeichnung einer Schleuse stammt aus dem Jahre 1497 (Bild 4), also knapp nach Erfindung derselben, welche wahrscheinlich in Italien und Deutschland gleichzeitig erfolgte. Diese Schleuse trägt bereits die wesentlichsten Merkmale einer Kammerschleuse. Die Erweiterung zu einem Trog gibt die Möglichkeit, in einer kurzen Flußstrecke möglichst viele Schiffe gleichzeitig zu schleusen. Ein Verschluß der alten Trogschleuse scheint bereits ein Stemmtor gewesen zu sein. Dieser horizontal bewegte Verschluß, der nur geringe Antriebskräfte verlangt, zählt auch heute noch in fast unverändertem System zu den beliebtesten Schleusenverschlüssen. Die Füllung und Entleerung des Troges (Kammer) dürfte bei der

gezeigten Schleuse durch Öffnungen im Tor erfolgt sein, die durch kleine Verschlüsse (einfache Schütze) verschlossen werden können. Diese Art der Füllung und Entleerung von Schleusenkammern wurde von Leonardo da Vinci erfunden und wird auch heute noch bei vielen mittleren und kleinen Schleusenanlagen vorteilhaft verwendet. Die Ausrüstung der Kammerwand mit Festhalteeinrichtungen für die Schiffe (Poller und Halteringe) ist deutlich zu erkennen. Die Turbulenz der Wasserbewegung in der Kammer bei den Füllvorgängen war sicherlich nicht unerheblich.

Bild 5 zeigt eine Schleuse, wie sie zirka 300 Jahre später üblich war. Es ist die „Schleuse 100“ bei Bamberg. Schon im Jahre 1836 wurde der Ludwigskanal gebaut, der praktisch der Vorläufer des jetzt in Durchführung stehenden Rhein-Main-Donau-Kanals war. Schon damals wurde in einer Unzahl von Schleusen, von Bamberg der Regnitz folgend, über Nürnberg und Neumarkt der fränkische Jura und damit eine Höhendifferenz von 205 m überwunden. Der Abstieg zur Donau erfolgte im wesentlichen der Altmühl folgend über 88 m Höhendifferenz nach Kelheim. Aber schon 1000 Jahre vorher, unter Karl dem Großen, war es gelungen, das Problem der Schiffsverbindung zwischen Rhein und Donau zu lösen.

Weitere charakteristische Schleusen sind die Dnjepr-Schleuse bei Kiew, die für eine so bedeutende Wasserstraße verhältnismäßig kleine Ausmaße besitzt. Eine typische Zwillingsschleuse mit kleinen Abmessungen (12×110 m), wie sie hauptsächlich für Einzelfahrer geeignet ist, befindet sich am Neckar. Im Gegensatz dazu vermag die Zwillingsschleuse Aschach/Donau mit ihren Abmessungen $2 \times 24 \times 230$ m einen gesamten Schleppzug von 4000–6000 t Ladefähigkeit in jeder ihrer Kammern aufzunehmen.

Eine Schleuse am St.-Lorenz-Strom mit einer Breite von 24,4 und einer Länge von 262 m (nicht viel größer als Aschach) ist in der Lage, ein 25 000-t-Seeschiff aufzunehmen. Bemerkenswert ist, daß die Stemmtore der Schleusen des St.-Lorenz-Stromes mit Seilzügen betätigt werden, deren Umlenkrollen und Führungen direkt im Bereich der Sohle im Wasser liegen. Beachtlich bei diesen Schleusen sind auch die Schiffsfangeinrichtungen, deren ölhydraulisch gebremste Seile eine Kollision des Schiffes mit den Toren verhindern sollen (Bild 6).

Als Beispiel für eine Schachtschleuse möge die Bollene-Schleuse beim Rhone-Kraftwerk Donzère Mondragon angeführt werden. Die Hubhöhe dieser Schleuse beträgt zirka 27 m. Füllung und Entleerung dieser 12 m breiten Schleuse kann in 8–10 Minuten durchgeführt werden, die Hubgeschwindigkeit des Kammerwasserspiegels beträgt 4,5–6 m/min. Bei solchen großen Steiggeschwindigkeiten ist ein dauerndes Umhängen des Seiles vom Schiff aus an Nischenpoller oder Halteringe nicht mehr möglich. Hier müssen bereits Schwimmpoller angeordnet werden.



Bild 5: Schleuse 100 bei Bamberg im Ludwigskanal, dem Vorgänger des Rhein-Main-Donaukanals

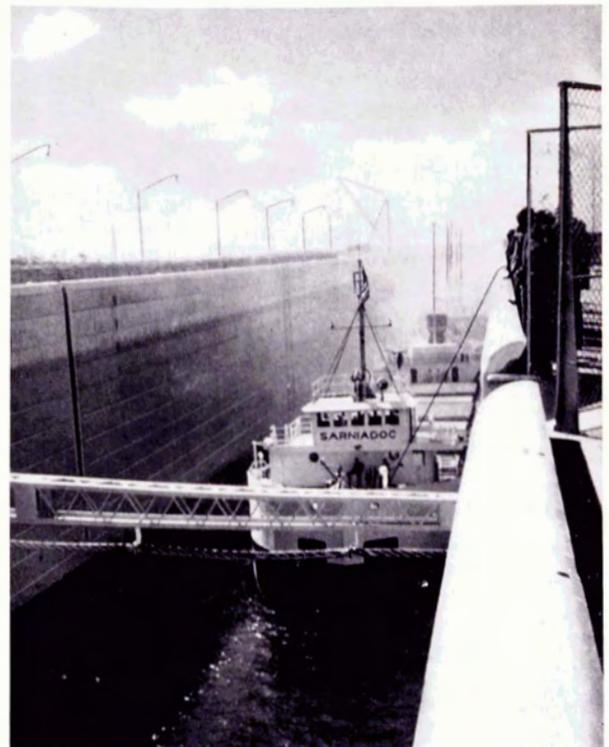
Fig. 5: Lock 100 at Bamberg in the Ludwigskanal, forerunner of the Rhein-Main-Donau-Kanal

b) Die Bedeutung einer kurzen Schleusungszeit

Die Schleusen sind es, die der Binnenschifffahrt damals und heute ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber Landfahrzeugen auf dem Gebiet der Massengutbeförderung auch nach der Erfindung der Dampfmaschine und nach dem Ausbau eines weit-

Bild 6: Schleuse am St.-Lorenz-Seeweg. Im Vordergrund das Seil der Schiffsfangeinrichtung

Fig. 6: Lock at the St. Lorenz water way, in front the rope of the ship protection arrangement



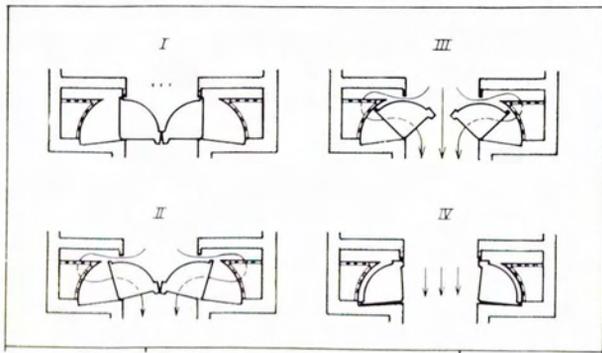


Bild 7: Das Sektortor als Oberhauptverschluss (USA und Frankreich)

Fig. 7: The sector gate at the upstream side of the lock (USA and France)

verzweigten Eisenbahnnetzes bewahren. Die Wirtschaftlichkeit des Schifftransportes wird immer mehr von der Verkürzung der Transportzeiten bestimmt. Durch Vergrößerung der Ladefähigkeit, Erhöhung der Schlepp- bzw. Schubkraft können heute in einem Schiffsverband bis zu 20 000—

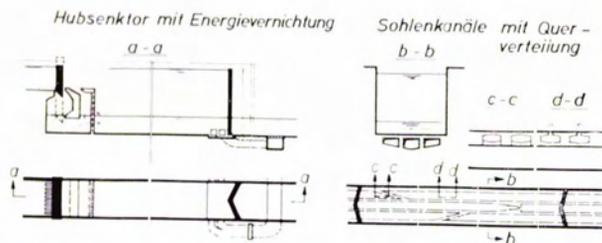


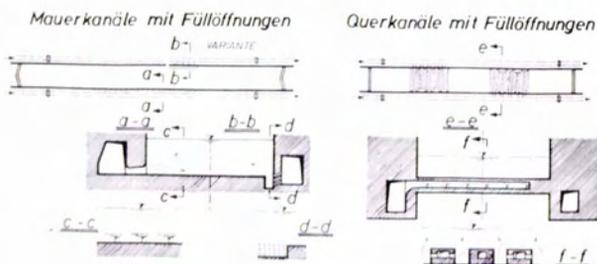
Bild 8: Die russischen Füllsysteme

Fig. 8: The Russian filling system

25 000+ transportiert werden. Die Abmessungen der Schleusen werden immer größer. Sowohl die Schifffahrt als auch der Kraftwerksbau erfordern große Fallhöhen an den Staustufen; die Schifffahrt fordert sie, weil wenige große Schleusen in einem Flußlauf kürzere Gesamtfahrzeiten er-

Bild 9: Die amerikanischen Füllsysteme

Fig. 9: The American filling system



möglichen als viele kleine Schleusen; hingegen können die Kraftwerksbauer ihre Maschinen bei großen Fallhöhen wirtschaftlicher betreiben. Die Erhöhung der Transportgeschwindigkeit verlangt kurze Schleusungszeiten, denn für die Schifffahrt bedeuten die Stauräume Autobahnen, die Schleusen hingegen Engstellen auf diesen.

Die Schleusungszeit setzt sich aus der Einfahrts- und Manipulationszeit des Schiffszuges, weiter aus der Zeit für die Verschlussbewegung und aus der Füll- bzw. Entleerungszeit der Kammern zusammen. Wie kann nun diese Zeit verkürzt werden? Die Manipulationszeit der Schiffe wird kurz, wenn der gesamte Konvoi auf einmal in die Schleuse einfahren kann. Bei der Fahrt durch die Vorhäfen und die Einfahrt in die Schleuse besitzt das Schiff eine geringe Geschwindigkeit und ist daher in seiner Manövrierfähigkeit beschränkt. Die Sichtverhältnisse müssen daher gut, die Signalisierungen geschaffen werden, welche das Schiff vor Strömung und Wind schützen. Die Verschlussbewegungen benötigen bei modernen Konstruktionen meist nur 2—3 Minuten. Entscheidend ist aber eine kurze Füllungs- und Entleerungszeit der Kammern. Um die Bedeutung der Verkürzung der Schleusungszeit zu charakterisieren, sei erwähnt, daß an amerikanischen Flüssen die Verkürzung der normalen Füllzeit um eine Minute Mehrinvestitionen von 60 000—90 000 Dollar, also bei einer Einsparung von 5 Minuten 10 Mio. S Mehrinvestitionen rechtfertigen. Ähnliche Untersuchungen, die hinsichtlich der Schleuse bei Aschach vorgenommen wurden, bestätigen diese Relationen.

c) Der Füll- und Entleerungsvorgang

Während des Füll- und Entleerungsvorganges wirken auf das Schiff in der Kammer durch das einströmende Wasser Kräfte, die beim Überschreiten eines bestimmten Wertes das Schiff und seine Mannschaft gefährden. Die Größe dieser auf das Schiff einwirkenden Kräfte wirkt sich praktisch als Trossenkraft des vertäuten Schiffes aus. Im Modellversuch dient der Vergleich der Trossenkräfte zur Beurteilung der Tauglichkeit des Füllsystems. Hervorgerufen werden diese Kräfte durch Turbulenz und Strömung sowie durch die Änderung der Spiegellage in der Kammer. Je größer die Fallhöhe und die Schleusenabmessungen sind, umso schwieriger wird die Lösung dieses Problems.

Die Abhängigkeit der Füllzeit von den Breiten- und Längenabmessungen der Schleuse führte seinerzeit dazu, daß man die langen Kammern, wie sie für die Schleppzüge benötigt wurden, durch sogenannte Mittelhauptverschlüsse unterteilte. Einzelfahrer konnten in den so geschaffenen kürzeren Kammerräumen naturgemäß schneller geschleust werden. Hierdurch wurden auch gefährliche Überholmanöver im Bereich der engen Kanalstrecken unnötig, da der Überholvorgang im Bereich der Zwillingschleuse durchgeführt werden konnte.

d) Schleusenfüll- und -entleerungssysteme

Füllung und Entleerung über Torumläufe und Öffnungen in den Kammerverschlüssen waren bis vor 40 Jahren in Europa vorherrschend. Dann begann man Systeme zu entwickeln, bei welchen die Füllung direkt durch das Bewegen des Oberhauptverschlusses erfolgte. Für dieses letztgenannte System ist charakteristisch, daß das Füllwasser in voller Breite des Verschlusses in Kammerlängsrichtung einströmt und seine lebendige Kraft durch Umlenkung und Walzenbildung in „Energie-Vernichtern“ verliert. Bei Fallhöhen bis zu 6–8 m haben sich diese Systeme gut bewährt. In Birsfelden (Rhein), Jochenstein und Ybbs (Donau) konnten Schleusungshöhen von etwa 10 m auch noch einwandfrei beherrscht werden. Diese Füllart macht es notwendig, aber auch möglich, die Verschlusskonstruktionen vielfältigen Forderungen anzupassen. Charakteristische Vertreter dieses Füll- und Entleerungssystems sind unter anderem Hubsenktore (Donau), Klapptore (CSSR), Klappdrehtore, das Drehsegmenttor in Würzburg, Hub-schwenktore (Neckar) und das Senktor Jochenstein.

Bei kleineren Schleusen bis zu 6 m Hubhöhe wird in den USA häufig das sogenannte Sektortor verwendet; dasselbe System findet in einer Varietätsausführung auch in Frankreich Anwendung. Bei diesem Sektortor (Bild 7) werden die um eine senkrechte Achse drehbaren Sektorflügel vorerst nur um wenige Grade (zirka 16°) gedreht. Hierbei bleibt die Mitteldichtung zwischen den beiden Sektoren noch in Eingriff, das Wasser strömt aber bereits, in den Tornischen umgelenkt, normal zur Schleusenachse in die Kammer ein. Die lebendige Kraft der gegeneinander gerichteten Füllstrahlen wird dabei vernichtet. Nachdem der Wasserspiegel in der Kammer gestiegen und die Druckhöhe kleiner geworden ist, erfolgt die weitere Öffnung der beiden Sektoren, und nun strömt das Füllwasser auch in Schleusenlängsrichtung in die Kammer.

Die russischen Füllsysteme

Das Hubsenktor mit Energievernichtung, wie es im Bild 8 (links) dargestellt ist, ist bei den Dnjepr-Schleusen und am Wolga-Don-Kanal zur Ausführung gekommen. Es ist im Prinzip ähnlich den Ausführungen der Anlagen in Birsfelden, Jochenstein und Ybbs. Zusätzlich ist mit einem ziemlichen Aufwand hinter dem Prellbalken noch eine durchlöchernde Wand zur weiteren „Energievernichtung“ angeordnet. Neu ist eine vor dem Verschluss angeordnete Zahnschwelle, welche im ersten Teil der Füllung nicht die volle Breite für die Einströmung freigibt. Hierdurch wird die gefürchtete Initialwelle in der Schleusenammer zweifellos gemildert. Das Entleerungssystem ist ein Torumlaufsystem, wobei das Wasser nicht seitlich aus den Kammerwänden, sondern von unten aus der Schleusensohle in den Unterhafen aufsteigt.

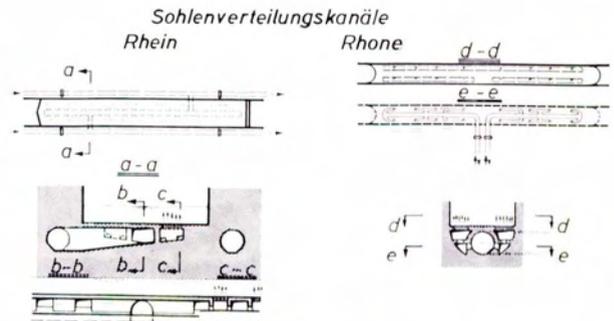


Bild 10: Das französische Füllsystem

Fig. 10: The French filling system

Die amerikanischen Füllsysteme

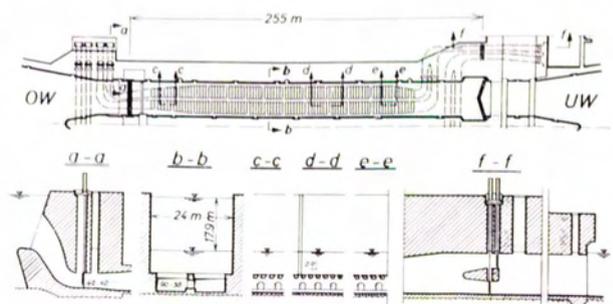
Bei den größeren Fallhöhen und den größeren Schleusenabmessungen war die Erfüllung der Forderung nach kürzeren Füllzeiten schwieriger und die Entwicklung entsprechender Füllsysteme setzte in den USA auch früher ein. Das Füllwasser wird dort im Prinzip in die Längskanäle der Schleusenmauer geführt. Die Sohle dieser Kanäle befindet sich ungefähr auf gleicher Höhe mit der Kammer-sohle (Bild 9, links). Aus diesen Längskanälen tritt das Füllwasser seitlich direkt in die Schleusenammer ein. Im Bild 9, rechts, ist das Füllsystem dargestellt, wie es bei breiteren Schleusen mit großer Hubhöhe in den USA angewendet wird. Die Längskanäle in den Schleusenmauern liegen hier tiefer, da von diesen abgehende Querkanäle als Stichkanäle unter der Schleusensohle verlaufen. Aus diesen tritt das Wasser durch entsprechende Öffnungen in die Kammern ein.

Das französische Füllsystem

Dieses System (Bild 10), ausgebildet an den Schleusen der Rhone und des Rheinseitenkanals, unterscheidet sich von den amerikanischen Systemen dadurch, daß hier im Bereich unter der Sohle der Schleuse Längskanäle angeordnet sind, aus denen nach vielerlei Umleitungen das Wasser nach oben in die Schleusenammer eintritt. Die Anspeisung dieser Längskanäle unter der Schleusensohle erfolgt entweder von der Seite aus einem zentralen Füllkanal oder aus Längskanälen, ähnlich dem amerikanischen System.

Bild 11: Das Aschacher Füllsystem

Fig. 11: The filling system at Aschach



Das Aschacher Füllsystem

Dem Aschacher Füllsystem (Bild 11) liegen die Erfahrungen des amerikanischen und des französischen Füllsystems zugrunde. Die Besonderheit ist durch die Forderung bedingt, daß die Schleusenkammern zur Hochwasserabfuhr herangezogen werden müssen. Jede größere Öffnung im Bereich der Kammersohle ist wegen der Gefahr der Verschotterung durch das bei Hochwasser mitgeführte Geschiebe zu vermeiden. In einem Füllbauwerk wird das Füllwasser direkt aus der Stauhaltung entnommen und in zwei große Längskanäle unter der Schleusensole geführt. Aus diesen Kanälen tritt das Wasser durch nur rund 5 cm breite Schlitze, die entlang der gesamten Kammerlänge und über deren gesamte Breite reichend angeordnet sind, nach oben in die Kammer. Die Entleerung erfolgt ebenfalls durch diese Schlitze und Kanäle in das Unterwasser des Kraftwerkes. Dieses System hat folgende Vorteile:

1. Durch Füllung und Entleerung wird der Schiffahrtsbetrieb im Oberhafen und Unterhafen nicht gestört.
2. Während des Hochwasserdurchflusses wird zufolge der größeren Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Schleusenkammer ein entsprechender Unterschied zwischen der Höhenlage des Wasserspiegels in der Stauhaltung und der Schleuse eintreten. Bei geöffneten Füllverschlüssen werden daher die Füllschlitze dauernd von unten durchströmt und ein Ablagern des Geschiebes auf den Schlitzen verhindert.
3. Die Zerstörung der lebendigen Kraft des Wassers erfolgt fast ausschließlich im Querschnitt des Füll- und Entleerungsverschlusses. Bei den anderen Systemen wird dies durch verschiedene Umlenkungen und Gestaltung der Öffnungen im Tiefbau erreicht.

e) Füll- und Entleerungsverschlüsse

Die Verschlüsse in den Kanälen verdienen ebenso die Aufmerksamkeit des Konstrukteurs und des Hydraulikers. Sie sind zum Unterschied von allen bisher gezeigten Verschlüssen nicht belüftet; es fehlt das elastische Medium, das erwünschte Wasser-Luft-Gemisch. Walzen wirken sich als harte Schläge auf den Verschuß aus. Unterdruckzonen in Ablösungsbereichen und die damit verbundenen allseits bekannten Kavitationerscheinungen und auch Schwingungen sind die Folge einer falschen Formgebung und damit einer Nichtbeachtung der hydraulischen Notwendigkeiten. Bei großen Druckunterschieden ist eine möglichst gleichmäßige Anströmung des Kanalquerschnittes anzustreben. Der Einzug von Luft muß verhindert werden, da die unter Druck stehende eingeschlossene Luft an den Austrittsstellen in der Kammer explosionsartig entweichen würde. Viele kleine Luftbläschen vereinigen sich dort zu einer großen Blase, welche an die Oberfläche des Wasserspiegels gelangt und eine Gefährdung für die Schifffahrt darstellt. Der zeitliche Ablauf des Öffnens und Schließens

der Verschlüsse beeinflußt sehr wesentlich das „Anspringen“ der Schleusung und die Schwall- bzw. Sunkerscheinungen bei Beendigung des Schleusungsvorganges. Diese hier nur kurz ange deuteten Probleme spielen bei den modernen Schleusen eine überragende Rolle.

f) Sparschleusen

Außer der Zeitersparnis ist bei der Schleusung auch die Wasserersparnis manchmal entscheidend. In der Haltung, dem Stauraum eines Kanals in einer Gebirgsstrecke, wirkt sich der Wasserverlust durch Versickerung, Verdunstung und insbesondere durch die Schleusung unangenehm aus; zumindest muß die Scheitelstrecke laufend gespeist werden. Falls eine Anspeisung aus Gewässern der Umgebung nicht möglich ist, müssen in den einzelnen Haltungen Pumpwerke den Wasserverlust ausgleichen. So sind beispielsweise am Wolga-Don-Kanal mit seinen 15 Schleusen 3 Pumpwerke mit je $15 \text{ m}^3/\text{sek}$ Förderleistung installiert. Das Füllen des Gesamtsystems hat einige Monate beansprucht. In solchen Kanalstrecken kann die Ausbildung von Schleusen der bisher gezeigten Bauart unwirtschaftlich sein. Es wurden daher die verschiedensten Sparschleusensysteme entwickelt. In letzter Zeit wurde die Sparschleuse Erlangen im Zuge des Rhein-Main-Donau-Kanals gebaut. Hier wird bei der Entleerung der Schleuseninhalt in verschiedene seitlich entsprechend hoch gelagerte Becken abgefüllt und steht später zur Füllung wieder zur Verfügung; trotzdem ist mit einem Wasserverlust von mindestens 30 % zu rechnen. Mit der Wasserersparnis ist aber in jedem Fall eine gewisse Erhöhung der Schleusungszeit verbunden.

g) Schiffshebwerke

Die Vermeidung jeglichen Wasserverlustes durch Schleusung ist bei Anordnung von Schiffshebwerken gegeben. Das Schiff wird bei der Bergschleusung aus der unteren Kanalstrecke in einen Trog eingefahren und dieser dann zur oberen Kanalstrecke gehoben. Durch geeignete Verschuß- und Dichtungssysteme kann der Übergang aus dem Kanal in den Trog und umgekehrt ohne Wasserverlust bewerkstelligt werden. Das Gewicht des Troges samt Füllung wird durch Gegengewichte (alte Form) bzw. bei modernen Anlagen durch Schwimmer (Auftrieb) besorgt. Der Hub des Troges erfolgt über einen Spindeltrieb. Die Hubzeit eines solchen Hebewerkes ist wesentlich geringer als die Füllzeit einer entsprechenden Kammer, da alle hydraulischen Probleme in Zusammenhang mit der Kammerfüllung und -entleerung entfallen. Ein Nachteil dieses Systems liegt darin, daß immer nur eine Schiffseinheit geschleust werden kann (wirtschaftliche Größe des Troges).

h) Mehrstufige Schleusen

Bei großen Niveauunterschieden, wie sie bei den in den Großraumgebieten immer häufiger werdenden Mitteldruckkraftwerken vorhanden sind, wer-

den die bisher in der UdSSR bevorzugten mehrstufigen Schleusen nicht mehr ausreichen. Der Zeitaufwand für die Überwindung von Niveauunterschieden von 50—100 m wäre zu groß, da in einer Stufe maximal 15—20 m überwunden werden können. Die mehrstufige Schleuse ist praktisch die Anordnung mehrerer gleichartiger Schleusenkammern hintereinander, wobei die jeweils untere Kammer aus dem Inhalt der oberen Kammer gefüllt wird. Mächtige Anlagen dieser Art sind an der Wolga als zweistufige Schleusen, am Dnjepri bei Saporoschje als dreistufige Schleusen ausgeführt.

i) Schiffsaufzüge

Für die genannten großen Niveauunterschiede bei Mitteldruckkraftwerken oder dort, wo diese im Zuge neu geplanter Kanalstrecken bei der Überwindung von Gebirgszügen notwendig werden, treten Schiffsaufzüge bei den Planungen immer mehr in den Vordergrund. Der Unterschied gegenüber einem Hebewerk ist lediglich der, daß der Trog samt Schiff nicht senkrecht in die Höhe, sondern über eine schiefe Ebene mit Antrieben — ähnlich einer Standseilbahn — hochgeführt wird (Bild 12). Derzeit ist ein solcher Aufzug bei Ronquieres südlich von Brüssel in Bau. Für den Rhein-Main-Donau-Kanal stehen ähnliche Anlagen zur Diskussion.

Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Ich hoffe, daß es mir durch diesen zweifellos unvollständigen Bericht gelungen ist, einen gewissen Überblick über die historische Entwicklung, den derzeitigen Stand der Technik und die zukünftigen Erfordernisse gegeben zu haben. In Österreich sind die oben dargestellten Probleme erst durch den Ausbau der Donau als Kraftwasserstraße aufgetreten. Die hohen Anforderungen an die Schleusenanlagen der Donau sind nur gerechtfertigt, wenn man die zukünftige Entwicklung betrachtet.

Der Hafen Duisburg am Rhein besitzt einen jährlichen Umschlag von 32 Mio. t, Hamburg von 40 Mio. t, Rotterdam einen solchen von über 100 Mio. t im Jahr; die Häfen am Neckar und Main verzeichnen derzeit einen jährlichen Umschlag von 15 Mio. t, obwohl noch vor 10 Jahren dort kaum mehr als 3 Mio. t umgeschlagen worden sind.

In den Donauhäfen bei Wien und Linz werden derzeit etwa 3—4 Mio. t Güter pro Jahr umgeschlagen. Der Ausbau der unteren Donau durch das Kraftwerk „Eisernes Tor“ wird es den Schiffen des Schwarzen Meeres, aber auch den Ostseeschiffen, möglich machen, bis nach Wien einzufahren. Erst durch die Kraftwerksanlagen an der Donau mit ihren Stauräumen, die alle Untiefen und sonstigen Schifffahrtshindernisse beseitigen, wird die Bewältigung des schon in wenigen Jahren zu erwartenden Verkehrs auf der Rhein-Main-Donau-Straße überhaupt möglich. Man kann eine Steigerung des jährlichen Umschlages auf 15 Mio. t bereits in den ersten Jahren nach Eröffnung des Kanals auf der österreichischen Strecke annehmen.

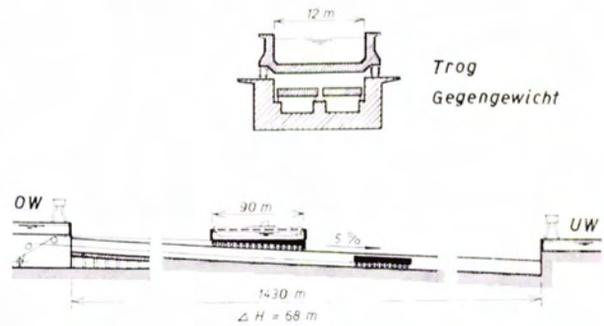


Bild 12: Der geplante Schiffsaufzug im Zuge der neuen Kanalstrecke Lüttich — Antwerpen

Fig. 12: Ship elevation as planned in the course of the new canal system Lüttich — Antwerpen

Es ist aber auch zu hoffen, daß ebenso vorausschauend und großzügig, wie man die Forderungen an die Kraftwerksgesellschaften gestellt hat, alle jene anderen Anlagen, wie Häfen, Silos, Zollfreizonen usw. geplant werden, um es der österreichischen Volkswirtschaft zu ermöglichen, einen echten Nutzen aus der mit Bestimmtheit zu erwartenden Verkehrsentwicklung zu ziehen.

Dipl.-Ing. Werner Roehle, Wien
Österreichische Donaukraftwerke AG

Bemessung von Stahlwasserbauten unter Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung

Von E. Mistéth, Budapest

1. Einleitung

Sicherheit und Abmessungen können und sollen auf wissenschaftlich begründeter Grundlage durch Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung bestimmt werden. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung als Wissenschaft ist ein jüngerer Zweig der Mathematik. Im 16. und 17. Jahrhundert haben unsere großen Mathematiker auf Bestellung von Hasardspielern die mit dem Karten- und Würfelspiel verbundenen Aufgaben gelöst.

Im 18. und 19. Jahrhundert war die Weiterentwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit den Namen Moivre, Laplace und Gauß verbunden. Die von letzterem stammende Methode der kleinsten Quadrate löst auch die Aufarbeitung der geodätischen Messungen auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage. Um die Jahrhundertwende – mit dem Auftreten der mathematischen Statistik – verbreitete sich im Handel und in der Industrie die auf statistischer Grundlage aufgebaute Warenübernahme und Qualitätskontrolle. Im 20. Jahrhundert sind es Pearson, Borell, Lévy, Kolmogorow, die die Wissenschaft der Wahrscheinlichkeitsrechnung weiter entwickelten. In den stochastischen Prozessen haben Poisson und Markow die ersten Schritte unternommen. Im Jahre 1932 erhielt Schrödinger den Nobel-Preis dafür, daß er die Physik auf die Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie setzte.

Ab dem Jahre 1932 finden die Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung in einer ganzen Reihe von technischen Wissenschaften Anwendung. Die neue Wissenschaft wird zum erstenmal in der Fernmeldetechnik und später in der Automatisierung und in der Starkstromtechnik angewendet. Die Bauingenieure bedienen sich der Wahrscheinlichkeitsrechnung zuerst in der Hydrologie und später im Verkehrswesen und schließlich bei der Bemessung von Konstruktionen.

Nach diesem kurzen historischen Überblick seien nun die Anwendungsmöglichkeiten der Wahrscheinlichkeitstheorie bei den Bemessungen betrachtet. Die klassische Maßberechnung ermittelt die Sicherheit durch die ungünstigste Gruppierung der größten Belastungskräfte und durch einen angenommenen zulässigen Spannungswert. Es erhebt sich nun die Frage, ob diese empirisch festgestellte zulässige Beanspruchung eine zu große oder eine zu geringe Sicherheit gewährleistet, und ob das wirtschaftlichste Maß der Sicherheit wissenschaftlich ermittelt werden kann. Anlaß für diese Überlegungen war der Umstand, daß die verschiedenen Bestimmungsformeln verschiedene Abmessungen für ein und dieselbe Konstruktion liefern.

2. Maßgebende Beanspruchung

Die wichtigsten Lastglieder bei Stahlwasserbauten sind der Wasserdruck und der Eisdruck. Die durch Belastung verursachten Beanspruchungen stellen einen stationären stochastischen Prozeß dar.

Die wahrscheinlichen Betriebswerte (Y_p^i) der Beanspruchungen infolge Belastung können bestimmt werden. Die Beanspruchungen haben vermutlich eine normale Gauß'sche Verteilung. Den mit einer im voraus angegebenen Wahrscheinlichkeit eintretenden Wert der belastungsbedingten Beanspruchung nennen wir die „maßgebende Beanspruchung“ (Y_M).

$$Y_M = \sum_{i=1}^n Y_p^i + m_v \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_p^i)^2} \quad \dots 1.)$$

Im Ausdruck (1) ist „ m_v “ ein von der Wahrscheinlichkeit des Eintritts der maßgebenden Beanspruchung abhängiger Beiwert, der in jedem wahrscheinlichkeitstheoretischen Handbuch auffindbar ist (zu einer Wahrscheinlichkeit von 1‰ gehört zum Beispiel $m_v = 3,09$).

3. Grenzbeanspruchung

Es kann auch der wahrscheinliche Wert (Y_B) der Bruchbeanspruchung bestimmt werden. Dieser hängt bei Stahlwasserbauten im allgemeinen von der Fließgrenze (σ_f) und von der der Natur der Beanspruchung entsprechenden Querschnittsgröße (W_B) ab. Ist die Streuung der Bruchbeanspruchung (s_B) bekannt, dann kann die Grenzbeanspruchung (Y_{Gr}) schon festgestellt werden.

$$\left. \begin{aligned} Y_{Gr} &= \sigma_f W_B - m_B s_B \\ s_B^2 &= W_B^2 s_{\sigma}^2 + \sigma_f^2 s_W^2 + s_{\sigma}^2 \cdot s_W^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots 2.)$$

Die Grenzbeanspruchung (Y_{Gr}) ist also die Bruchbeanspruchung, die bei der ungünstigsten Gruppierung der die Beanspruchung beeinflussenden Faktoren auftreten und mit einer im voraus angegebenen Wahrscheinlichkeit zur Zerstörung der Konstruktion führen kann [1]. Der Wert m_B ist der von dem übernommenen Risiko abhängige Faktor, der im Falle einer normalen Gauß'schen Verteilung ebenfalls aus einer Tabelle entnommen werden kann. Die Streuung der Fließgrenze (s_{σ}) kann durch Einsammlung von statistischen Daten bestimmt werden [2]. Die Streuung der Querschnittsgröße (s_W) kann mittels des Lehrsatzes der Streuung des Funktionswertes eines in der Geodäsie bereits bekannten Zusammenhanges bestimmt werden.

$$s_w^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta W_B}{\delta x_i} \right)_{x_i = a_i}^2 s_i^2 \quad \dots 3.)$$

Im Ausdruck (3) ist $W_B(x_1, x_2 \dots x_n)$ die von den geometrischen Abmessungen ($x_1, x_2 \dots x_n$) abhängige Querschnittsgröße. Der wahrscheinliche Wert der geometrischen Daten sei ($a_1, a_2 \dots a_n$), ihre Streuung hingegen ($s_1, s_2 \dots s_n$). Die geometrischen Abmessungen (a_i) geben immer eine Gauß'sche Verteilung. Die Verteilung der Fließgrenze (σ_f) verläuft im allgemeinen schief und spitzer als die normale Verteilung. Da nun der kleinere Werte als die Fließgrenze zeigende Ast steiler ist als die normale Verteilung, gibt die vorausgesetzte Gauß'sche Verteilung eine Vernachlässigung zugunsten der Sicherheit.

4. Ein neues Bemessungsverfahren

Im ersten Augenblick scheint es auf der Hand zu liegen, die Bemessung auf Grund des Zusammenhanges $Y_M \leq Y_{Gr}$ durchzuführen. Dies wäre aber unrichtig, weil derart das übernommene Risiko an zwei Stellen berücksichtigt werden würde; mit anderen Worten: die Wahrscheinlichkeit, daß die maßgebende Beanspruchung und die Grenzbeanspruchung gleichzeitig auftreten, ist kleiner als jene des Auftretens von Y_M oder gar Y_{Gr} für sich. Die richtige Maßberechnung kann man aus folgendem Ausdruck erhalten:

$$P \left\{ \left| Y_B - \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{P} - m \right| \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(s_{p_i} \right)^2 + s_B^2} \geq 0 \right\} \geq 1 - \frac{1}{k} \quad \dots 4/a.)$$

wo

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-m} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \frac{1}{k}$$

davon

$$\sigma_f W_B - \sum_{i=1}^n Y_p^i - m \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(s_{p_i} \right)^2 + s_B^2} \geq 0 \quad \dots 4/b.)$$

Aus dem Ausdruck (4/b) kann W_B schon berechnet werden:

$$W_B \geq \alpha W_v + m$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - \left(\frac{s_\sigma}{\sigma_f} m \right)^2} \quad \dots 5.)$$

Im Ausdruck (5) bedeutet W_v die aus der Beanspruchung durch Betriebslast berechnete Querschnittsgröße. Durch den Multiplikator 2 (unter

der Quadratwurzel) haben wir die Korrosion berücksichtigt. Angenommen wurde nämlich, daß die durch die korrosionsbedingte Streuung der Abmessungen und jene der Maßunsicherheit gleich groß sind. In erster Näherung ist $s_w \cong 0,02 W_v$.

5. Das optimale Risiko

Im Ausdruck (5) ist nur noch eine Frage ungeklärt, und zwar die Auswahl des Wertes „m“. Hierfür gibt man entweder eine Vorschrift, oder man stellt das wirtschaftlich optimale Risiko fest.

Zwischen der Wahrscheinlichkeit m und $\frac{1}{k}$ kann aus den zusammengehörigen Tabellenwerten eine Regressionsbeziehung errechnet werden. Betragen die Neubaukosten des Verschleißkörpers $p(k)$, dann ist diese Beziehung nahezu linear, wenn man $\log k$ als Veränderliche betrachtet:

$$p(k) = C(c_0 + c_1 \log k) \quad \dots 6.)$$

Im Ausdruck (6) bedeutet C die nach Zerstörung des Verschleißkörpers entstehenden Neubaukosten, bei einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{k} = 10^{-2}$; c_0 und c_1 dagegen von der Konstruktion abhängige Konstanten. Aus dem Ausdruck (6) kann als optimaler Wert des „k“

$$k \cong \frac{2,31}{c_1} \left(\frac{Q}{C} + 1 \right) \quad \dots 7.)$$

berechnet werden.

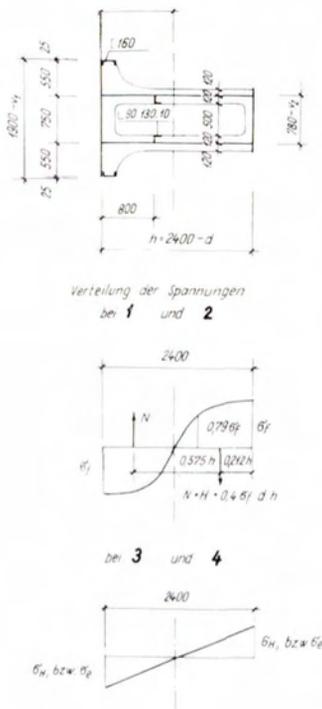
Im Ausdruck (7) bedeutet Q den bei Zerstörung des Verschleißkörpers entstandenen Schaden. Aus Formel (7) kann für die Nebenträger $k \sim 100$ und für die Hauptträger $k \sim 1000$ gerechnet werden.

6. Fehlanwendungen der Wahrscheinlichkeitsberechnung

Wir haben bereits im vorstehenden Punkt 4 darauf hingewiesen, daß nicht sämtliche zur Maßbestimmung notwendigen Größen im voraus mit den ungünstigsten Fehlerwerten berechnet werden dürfen [3]. Wenn man zum Beispiel jede Größe im voraus mit einem Wert von $\frac{1}{k}$ Wahrscheinlichkeit in Betracht nimmt, bedeutet dies nicht, daß das angenommene Risiko $\frac{1}{k}$ ist. In diesem Fall ist die ungünstigste Gruppierung der mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{k}$ vorkommenden Fehler, auch wegen der Zahl der Veränderlichen nur mit einer kleineren Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{k}$ möglich; die vollständige Wahrscheinlichkeit wird also im allgemeinen kleiner als $\frac{1}{k}$ sein.

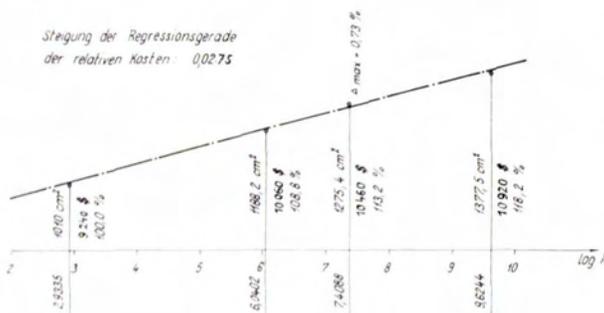
Im allgemeinen läßt sich nachweisen, daß, wenn „n“ die Zahl der Veränderlichen der Querschnittsgröße und „l“ die Zahl der Belastungsarten ist, dann ist

Bild 1



Bemessungsverfahren	d	v ₁	v ₂	F	F'	Bemerkung
1 Vorschlag	1,10	0,90	2,2	1035,8	1010,0	plastisch
2 Wahrscheinlichkeitstheoretisch fehlerhaft	1,02	1,12	2,62	1230,0	1188,2	—
3 Gültige ungarische Bestimmungsformel	1,20	1,60	3,80	1341,6	1275,4	elastisch
4 DIN - Vorschriften	1,30	1,80	4,20	1458,8	1377,5	—

Bild 2



Methode	Fläche/cm ²		Dambalken		Wahrscheinlichkeit 10 ⁻⁶	%	
	Total	Durchschn.	Gewicht (t)	Kosten (S)		Gewicht	Kosten
Vorgeschlagene Berechnung	1035,8	1010,0	23,1	9 240	1166	100	100
Fehlentwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie	1230,0	1188,2	27,2	10 060	0,912	117,6	108,8
Gültige ungarische Vorschriften	1341,6	1275,4	29,2	10 460	0,03973	126,4	113,2
DIN-Vorschriften	1458,8	1377,5	31,5	10 920	0,00024	136,4	118,2

$$1 \leq \frac{m'}{m} \leq \sqrt{n+1+1} \quad \dots 8.)$$

Im Ausdruck (8) ist m' der zur Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{k'}$ gehörende Tabellen-Wert.

7. Zahlenbeispiel

Ein Dambalken aus Stahl St 37 mit einer Spannweite von 24 m (Bild 1) wird nach mehreren Vorschriften bemessen. Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle zusammengestellt. Bei höherem Gewicht wird der Preis des Balkens nur mit den Material- und Transportkosten erhöht. Die Regressionsrechnung, das heißt, die Gültigkeit der Formel (7), wird in Bild 2 gezeigt.

8. Zusammenfassung

1. Die Sicherheit ist eine im voraus feststellbare Wahrscheinlichkeit, die zum Ausdruck bringt, in welcher ungünstigsten Gruppierung sämtliche, eine Zerstörung herbeiführenden Umstände während der Lebensdauer eines Bauwerks auftreten können. Einer kleinen Wahrscheinlichkeit gehört also eine große Sicherheit zu.

2. Die vorgeschlagene Berechnungsart enthält keinerlei subjektive Kennwerte; jede Abmessung kann auf Grund der mathematischen Statistik und die Sicherheit durch wirtschaftliche Erwägungen allein bestimmt werden.

3. Die allgemeinen Gesetze und Regeln der Bemessung sind durch die funktionellen Beziehungen der Festigkeitslehre und der Statik gegeben, während die wirtschaftlichen Bemessungen wegen der Streuungsparameter in den funktionellen Beziehungen mit Hilfe der auf der Wahrscheinlichkeitstheorie ruhenden stochastischen Verbindungen bestimmt werden müssen.

4. Die auf die Wahrscheinlichkeitstheorie aufgebaute Extremwertbildung und die rationellen Operationen dürfen nicht vertauscht werden. Die Ansicht, daß die Gleichsetzung der maßgebenden Grenzbeanspruchungen die richtigen Abmessungen ergäbe, ist also irrig.

5. Die Abmessungen können und müssen nicht nur durch die Auswahl besserer Werkstoffe, sondern vielmehr durch Erzeugung von verlässlicheren Materialien erreicht werden.

6. Die Aufnahme der unsererseits vorgeschlagenen normalen Gauß'schen Verteilung ist eine Vernachlässigung zugunsten der Sicherheit, weil die Verteilung der die Abmessungen am entscheidendsten beeinflussenden Fließgrenze schief und spitzer verläuft als die normale Verteilung.

7. Bei Stahlkonstruktionen muß auch berücksichtigt werden, daß die vollständige Zerstörung nicht bei Erreichen der Fließgrenze eintritt, sondern bei Erreichen der Bruchfestigkeit. Das Erreichen dieses Zustandes zeigt der Werkstoff im voraus durch große Formänderungen an. Bei Stahlwasserbauten kommt eine Zerstörung infolge Alterung nicht vor.

8. Die Wahrscheinlichkeitstheorie befaßt sich mit Massenerscheinungen zufälligen Charakters. Die zweite Bedingung ist auch bei Stahlwasserbauten erfüllt, die erste Bedingung ebenfalls, jedoch nicht in

dem Sinne, daß die im Beispiel erwähnten Damm-balken in Serie erzeugt werden, sondern indem der Bau von derartigen Stahlkonstruktionen bereits eine Menge bildet, für welche die statistischen Gesetze Geltung haben.

9. Das Verfahren läßt sich auch auf Bauten aus anderem Werkstoff und mit anderer Bestimmung wirtschaftlich anwenden. Die Anwendung dieses Vorganges wird für unbedingt notwendig erachtet, vorwiegend bei der Ausarbeitung von Bemessungsvorschriften, bei der Serienerzeugung und schließlich bei individuellen Konstruktionen mit hohen Kosten.

Schrifttum

- [1] Mistéth Endre: Határigénybevételek új meghatározási módszere valószínűség alkalmazásával (Neues Verfahren zur Ermittlung der Grenzbeanspruchungen, unter Anwendung der Wahrscheinlichkeitsberechnung.) (Mélyépítéstudományi Szemle 1963 Nr. 11.)
- [2] Korányi Imre, dr.: Analyse der Grenzspannung bei St 37, Acta Technika, Budapest 1959.
- [3] Yves Saillard: Analyse des recommandations pratiques unifiées (1964) du Comité Européen du Béton. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics (Juillet-Aout 1964).

Dr.-Ing. Endre Mistéth,
Budapest

Extracts

Expansion of hydro-electric power stations at the Danube river, Austria

by Director Dipl.-Ing. Hans Böhm er, Vienna Page 5

The article deals with the expansion of the Austrian hydro-electric power stations at the Danube river. Examinations have revealed that power generation by a Danube power station will be the most economical type to generate power in Austria in spite of the rather sharp competition by thermal power stations. The importance of shipping interests are also responsible for the expansion

of the Danube water-way. Due to absorptions for many years the power requirement in our country will be nearly twice as much in the next 10 years.

To cope with this development the expansion plan of the „Österreichische Donaukraftwerke AG“ provides 12 electro-hydraulic power stations in Austria.

New development in hydraulic steel structures

by Dipl.-Ing. Alfred Liebl, Linz/D. Page 9

The lecture deals with the development of various gate systems at the river Inn, Danube, Enns and Drau.

In particular the development of the constructive design of seals, anchorages and hoist units as well as hydraulic hoisting equipment of the various weir systems are being

discussed. Following the description of the development of gate systems in Austria various new performed large size power plants and such under construction in other countries are being discussed.

Hydraulic steel structures in Central Europe and large areas – Characteristic differences

by Director Dr. techn. Rudolf Heckel, Vienna Page 18

The characteristic differences in the planning of electro-hydraulic power stations in Central Europe and other large areas are being dealt with.

If the predominating type of large size power stations in large areas of the world presents the medium pres-

sure power stations, so run of river power stations for low pressures and storage power stations in the mountains are preferred for power station designs in the European area with heavily congested population.

Pressure tunnel and pressure shaft liners of the „Kaunertal-power station“

New ways for increasing safety and economy of steel liners subject to high pressure

by Director Dipl.-Ing. Dr. Harald L a u f f e r, Innsbruck Page 29

The pressure tunnel and pressure shaft liners of the „Kaunertal“ power station are being discussed. The pressure shaft of nearly 1900 m length with a maximum diameter of 3,3 m and a maximum height of approx. 1000 m as well as the steel liner of the end stage of the

pressure tunnel were instrumental for various novelties with the aim of increasing the safety and economy of steel liners.

The rather complicated problems for judging the coaction of rocks for penstocks are being dealt with.

Constructive development in large size turbine construction

by Director Dipl.-Ing. Dr. techn. h. c. Friedrich S c h e u e r, Graz Page 39

The article gives an instructive view about the development of large size turbine constructions, whereby

the field of Kaplan turbines is particularly discussed.

Historic development, task and their solution in the construction of locks on waterways

by Dipl.-Ing. Werner R o e h l e, Vienna Page 46

The article deals with the historic development in the construction of locks and the diversity of tasks to be involved in this line.

The problems arising therefrom in view of special safety

and economy are being dealt with.

The improvement of the inland water way conditions is as prime factor for the international competition of the Austrian economy.

Dimensioning of hydraulic steel structures under application of the Probability Theory

by Dr.-Ing. Endre M i s t é t h Page 54

The conception of safety is exactly determined by application of the probability theory.

Numerical examples reveal the probabilities computed in

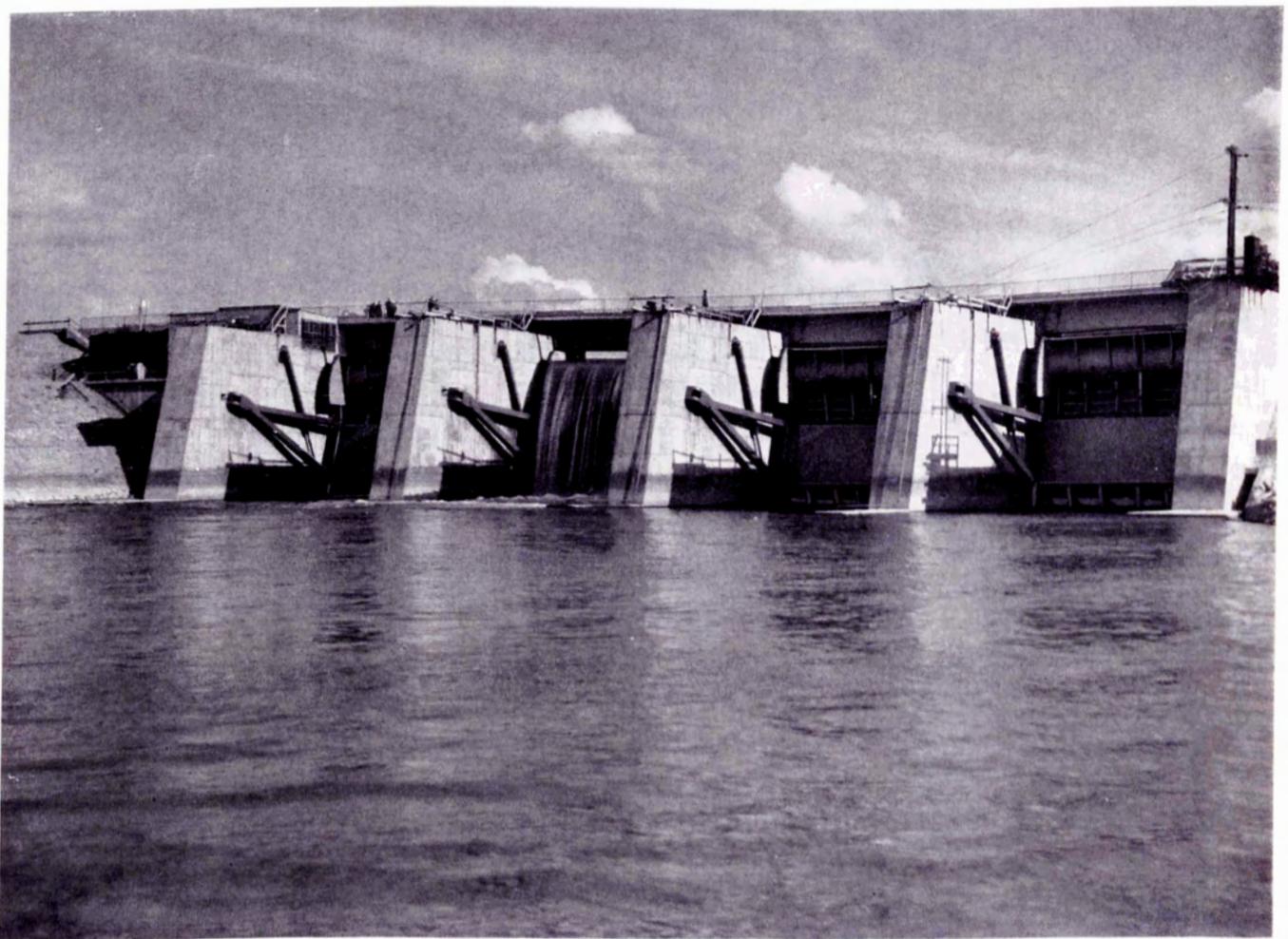
accordance with various regulations, as well as the formula for ascertaining the optimum value.

VÖEST

IM DIENSTE DER ENERGIE- WIRTSCHAFT

Für das Kraftwerk St. Pantaleon der Ennskraftwerke AG lieferten und montierten wir 4 Segment-schütze mit Klappe. Die lichte Weite beträgt 14 m, die Höhe über Schwelle 11,55 m.

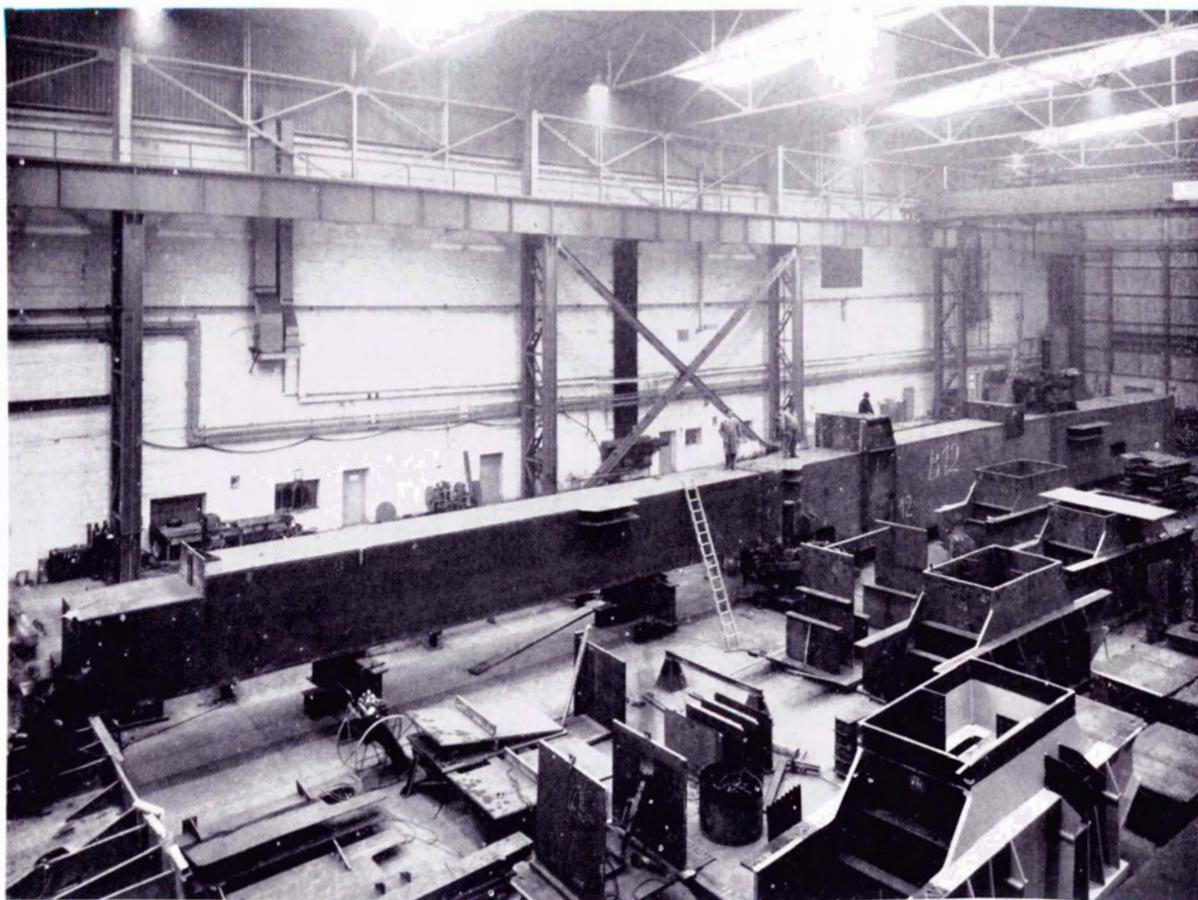
Unser Lieferumfang umfaßte weiters eine Rechenreinigungsmaschine und die Wehrbrücke mit 4 Fel-dern von je 15,6 m und einem Gesamtgewicht von 72,5 t. Die Ausführung erfolgte als geschweiß-ter Hohlkastenträger.



VEREINIGTE ÖSTERREICHISCHE EISEN- UND STAHLWERKE AG, LINZ/AUSTRIA



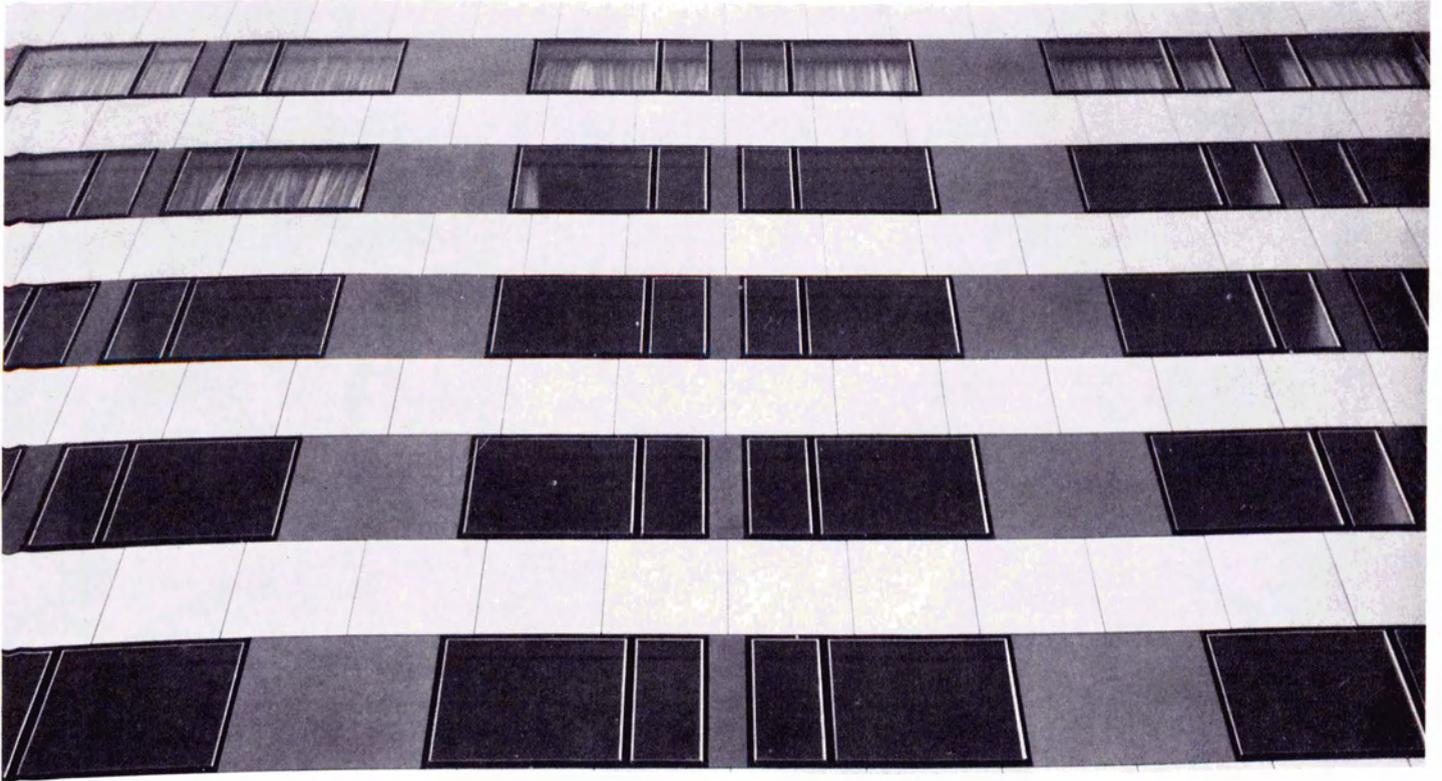
Stahl- und Brückenbau



Stiele für Tiegelschiffrahmen beim Zusammenbau in der Werkstätte. Gewicht 175 Tonnen, Höhe 45 m.

WIENER BRÜCKENBAU- UND EISENKONSTRUKTIONS-AG.

WIEN X, HARDTMUTHGASSE 131-135 • FERNRUF 64 36 86 • TELEX 1785



löst die Probleme der großflächigen Fenster in der modernen Architektur

- ist durch Oberflächenveredlung korrosionsgeschützt und besitzt eine lange Lebensdauer
- verhindert durch elastische Dichtungen Zugluft und Wärmeverlust
- -Flügel laufen auf Kunststoffrollen mit oder ohne Kugellager, leicht und geräuscharm
- ist infolge ausgereifter Konstruktion und rationeller Bauweise immer preiswert
- -Referenzen stehen auf Anfrage zur Verfügung
- -Beratung wird gern und unverbindlich übernommen

WAAGNER-BIRO

Zentrale: Margaretenstrasse 70 – 1050 Wien 5
Fachabteilung Leichtbau, Telefon 57 81 37





BAU IN STAHL

WENN KURZE BAUZEITEN EINZUHALTEN SIND. FÜR WINTERMONTAGE. IDEAL FÜR SPÄTERE ERWEITERUNGEN.

ALPINE STAHLKONSTRUKTIONEN SEIT JAHRZEHNTE BEWÄHRT.



**OESTERREICHISCH-ALPINE
MONTANGESELLSCHAFT**
WIEN I, FRIEDRICHSTRASSE 4

Für Modellbauer und Anfänger

Große Welt auf kleinen Schienen

Das Entstehen einer Modellanlage von H. Eisenreich. 208 Seiten, 40 Abbildungen, S 98,-.

Eine wirklich gute Anleitung in Wort und Bild, die große Welt auf die kleinen Schienen zu übertragen. Es ist an die vielen Besitzer der kleinen Eisenbahnen gerichtet, die ihren ersten Eisenbahnfrühling erleben. Der Verfasser macht seinen Lesern Mut, es nicht nur bei der Spielerei zu belassen.

BOHMANN FACHBUCHHANDLUNG

Wien I, Canovagasse 5

Fernsprecher 65 86 85, Postleitzahl 1010, FS 01/2312

BUNDU- HV-SCHRAUBEN ERHÖHEN DIE SICHERHEIT IM STAHLBAU



BREVILLIER-URBAN
WIEN · NEUNKIRCHEN

AGA



QUALITÄTSGERÄTE
für alle Schweissverfahren

SCHWEISSGASE: Dissousgas
Sauerstoff, Argon, Mischgase

sind unentbehrliche Helfer für den Stahlbau

AGA · WERKE WIEN 4., Prinz Eugen-Strasse 72 · 65 66 31

S T A H L

**Element moderner
Baugesinnung und
Ausdruck wachsenden
Wohlstandes**

**Seine vielfältigen
Vorzüge machen
ihn zum idealen
Werkstoff**

Über den Fortschritt und die Entwicklung der Stahlverwendung und über die Vorzüge des Werkstoffes Stahl informieren die Stahlverarbeiter und Stahlverbraucher die von der Beratungsstelle für Stahlverwendung in Düsseldorf herausgegebenen **Merkblätter über sachgemäße Stahlverwendung**; sie behandeln, nach Sachgebieten geordnet, folgende Themen:

1. Bauwerke

Kugelbehälter aus Stahl
Zerlegbare Tribünen aus Stahlrohr
Stahlblechschornsteine
Funktürme und Funkmaste aus Stahl
Stählerne Flugzeughallen
Parkhäuser in Stahlbauweise
Beleuchtungsanlagen aus Stahl für Straßen und Plätze
Seilschwebbahnen für Personenbeförderung
Geschweißte Stahlrohrkonstruktionen
Fußgängerbrücken aus Stahl
Flutlicht für Sportanlagen
Innerstädtische Verkehrs- und Stellwerkskanzeln
Tankstellen in Stahlkonstruktion
Stahlkonstruktionen im Theaterbau
Energiebrücken aus Stahl
Lawinenverbauung in Stahl und Stahlbeton
Tiefbohrtürme, Tiefbohrmasten
Stahlblech-Fertigteile für Unterführungen, Durchlässe, Verrohrungen und Stützwände
Schwimmbekken und Schwimmbadausstattungen aus Stahl
Fahrtreppen und Fahrsteige
Stählerne Straßenbrücken

2. Elemente für das Bauwesen

Bodenbelag aus Stahl
Kantenschutz aus Stahl
Stahl-Rollgitter
Spundwände
Das Stahlrohr in der Hausinstallation
Stahlrohr-Strahlungsheizungen
Dachdeckung mit verzinkten Stahldachpfannen
Berechnung von Druckstäben und Stützen im Stahlbau
Stehfalzbedachung mit verzinkten Falzblechen
Treppen aus Stahl
Dachdeckung mit feuerverzinktem Trapez- und Wellblech
Dachrinnen und Regenrohre aus verzinktem Stahlblech
Verzinkter Stahl im Blitzschutz
Treppengeländer aus Stahl
Balkonbrüstungen in Stahlkonstruktion
Plattenheizkörper aus Stahl
Badewannen aus Stahl
Schilder und Plakate aus emailliertem Stahlblech
Gewalztes Belagblech
Stahldraht und Stahldrahtgeflecht im Wasserbau
Eingangüberdachungen mit Stahltragwerk
Hausbriefkästen aus Stahl
Das Profilstahlrohr im Fenster- und Türenbau
Sicherungen bei Schraubverbindungen
Das Stahlrohr mit geschweißten Verbindungen in der Hausinstallation

Das Stahlrohr mit geschraubten Verbindungen in der Hausinstallation
Putzträger aus Stahl
Lochbleche aus Stahl
Hallentore aus Stahl
Stahlblech-Fertigteile für Unterführungen, Durchlässe, Verrohrungen und Stützwände
Anschlüsse von Mauerwerk an Stahlstützen
Brückenlager
Rippen-Torstahl
Fassadentragwerke aus Stahl
Warmstranggepreßte Stahlprofile
R-Träger
Wabenräger
Stahlfenster für Keller, Waschküchen, Stallungen
Plattiertes Stahlblech

3. Baugeräte

Schalungsträger aus Stahl
Stahlrohr-Lehrgerüste im Bauwesen
Stahlrohr-Fassadengerüste
Baudrehkrane aus Stahl
Hydraulische und pneumatische Fördermittel für Beton- und Zementmörtel
Mobilkrane aus Stahl
Gleislose Geräte im Erdbau
Stahlschalungen

4. Verkehrswesen

Spundwände
Autogenes Schweißen von Schienen
Stählerne Flugzeughallen
Parkhäuser in Stahlbauweise
Beleuchtungsanlagen aus Stahl für Straßen und Plätze
Seilschwebbahnen für die Personenbeförderung
Thermitschweißen von Schienen
Fußgängerbrücken aus Stahl
Abbrennstumpfschweißen von Schienen
Innerstädtische Verkehrs- und Stellwerkskanzeln
Tankstellen in Stahlkonstruktion
Lichtbogenschweißen von Eisenbahnschienen
Lawinenverbauung in Stahl und Stahlbeton
Stahlblech-Fertigteile für Unterführungen, Durchlässe, Verrohrungen und Stützwände
Hebebühnen für Kraftfahrzeuge
Brückenlager
Kaltprofile im Schienen- und Straßenfahrzeugbau
Radsätze
Fahrtreppen und Fahrsteige
Stählerne Straßenbrücken
Stahl-Strangpreß-Profile im Schienen- und Straßenfahrzeugbau

5. Stahlverarbeitung

Verbindung von Stahlblech durch Falzen
Autogenes Schienenschweißen
Verbinden von Rohren, Verlegen von Fernleitungen
Induktive Oberflächenhärtung von Stahlteilen
Das örtliche Entspannen von Schweißnähten durch induktive Wärmebehandlung
Thermit-Schweißen von Schienen
Autogenes Dünnschweißschweißen
Das Brennschneiden von Stahl
Abtrenn-Stumpfschweißen von Schienen
Moderne Maschinen für die Kaltumformung von Stahlblech
Berechnung und Gestaltung geschweißter Stützen
Lichtbogenschweißen von Schienen
Kunststoffbeschichtetes Stahlblech
Das Stahlrohr im Kesselbau
Kaltprofile im Schienen- und Straßenfahrzeugbau
Das Schweißen von plattiertem Stahlblech
Warmstranggepreßte Stahlprofile
Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren im Stahlbau
Schweißgerechtes Konstruieren im Maschinenbau
Kleben von Stahl
Stahl-Strangpreß-Profile
im Schienen- und Straßenfahrzeugbau

6. Stahl-Oberflächenbehandlung

Oberflächenschutz von Stahl durch Phosphatieren
Oberflächenschutz von Stahl durch metallische Zinnüberzüge
Oberflächenschutz von Stahl durch Diffusions-Chromieren
Oberflächenbehandlung von Stahl durch Beizen
Oberflächenschutz von Stahl durch Anstriche
Feuerverzinken
Kunststoffbeschichtetes Stahlblech
Oberflächenschutz durch Feuerverzinkung plus Anstrich

7. Betriebsmittel

Magazinierungsvorrichtungen an Werkzeugmaschinen
Stahlfundamente für Turbomaschinen
Vorrichtungen und Arbeitshilfen für Schweißarbeiten
Stetigförderer für Kurztransporte
Mechanische Stetigförderer für Hafenbetriebe
Pneumatische Stetigförderer im Hafenbetrieb
Luftfilter aus Stahl
Stetigförderer für Fließarbeiten
Einrichtungen aus Stahl in Lehrwerkstätten
Behälterverkehr mit Stahlbehältern
Stahlreuperatoren
Stahllarmaturen im Rohrleitungsbau
Lukenabdeckungen aus Stahl für Schiffe
Rundstahlketten für Industrie und Landwirtschaft
Einrichtungen aus Stahlblech für die Lackierung im Fertigungsbetrieb
Ladeneinrichtungen aus Stahl
Infrarot-Strahler zum Trocknen von lackiertem Blech
Be- und Entlüftung mit Einrichtungen aus Stahlblech
Entstaubung mit Einrichtungen aus Stahlblech
Stahlflaschen für Transport und Lagerung von Gasen
Mobilkrane aus Stahl
Einrichtungen aus Stahlblech
für die Absaugung und Entnebelung in Arbeitsräumen
Großanlagen für die Verladung von Massengütern
Stationäre Feuerlöschanlagen
Apparate und Anlagen aus Stahlblech
für die Luftheizung in Arbeits- und Aufenthaltsräumen
Hafenkrane für Stückgut und Schüttgut
Werftkrane
Lastaufnahmemittel für Schüttgüter: Greifer
Das Stahlrohr im Kesselbau
Selbstbauprofile
Dehnungsausgleicher für Stahlrohrleitungen
Halterungen und Befestigungen für Rohrleitungen
Bordkrane
Hebebühnen für Kraftfahrzeuge
Schwimmkrane
Fördermittel in der Fertigung
Leichte schienengängige Lagerplatzkrane
Großküchenausstattungen

8. Büroeinrichtungen und Büroorganisation

Ordnungs- und Bürohilfsmittel aus Stahl
Stahleinrichtungen in Bibliotheken und Archiven
Stahlschränke für die Zeichnungsaufbewahrung
Kleiderablagen für Versammlungsstätten und Betriebe

9. Bergbau

Stahlankerausbau
Blindschachtsausbau in Stahl
Schüttelrutschen
Streckenabzweigungen unter Tage in Stahlausbau
Ladegeräte für Gesteinsbetriebe
Stahlverzug
Rundstahlketten im Bergbau
Fördergerüste aus Stahl
Förderwagen für den Bergbau
Hohlbohrer und Bohrrohre, Hohlbohrstangen
für das schlagende Gesteinsbohren
Wetterluten aus verzinktem Stahlblech
Die Mechanisierung des Strebausbaus
Das Rohrnetz für Niederdruckluft im Bergbau

10. Landwirtschaft

Hochwertiges Heu durch Schwedenreuter
Wildabwehr in der Forstwirtschaft
Drahtanlagen für den Weinbau
Erleichterte Hackarbeit in bäuerlichen Betrieben
Vorratshaltung im Landhaushalt durch Kühlen und Gefrieren
Fortschrittliche Milchgewinnung
Trocknung und Lagerung von Erntedruschgetreide
Bau und Betrieb von Kartoffellagerhäusern
Aussiedlungshöfe
Räucher- und Aufbewahrungsschränke für den Bauernhof
Treibhäuser aus Stahl
Einachsenschlepper und Kleinmotorgeräte für die Landwirtschaft
Zweiachsenschlepper für die Landwirtschaft
Ackerwagen und Stallungstreuer
Stetigförderer für die Landwirtschaft
Stallentmistsanlagen
Rationalisierung der Weinbergarbeit
Gebläse für landwirtschaftliche Betriebe
Futterbereitung auf dem Hofe
Mineraldüngerstreuer
Pflanzenpflege und Pflanzenschutz
Einfriedung landwirtschaftlicher Anwesen
Bodenbearbeitungsgeräte für Schlepperbetrieb
Ladegeräte und Lademaschinen für die Landwirtschaft
Maschinen für die Kartoffelernte
Maschinen für die Getreideerte
Landwirtschaftliche Hebezeuge, Lader, Jauchepumpen
Die Werkstatt des Bauernhofes
Futterkonservierung in Stahlhochbehältern
Hygienische Stallausrüstung
Maschinen für die Rasenpflege
Stahlfenster für Keller, Waschküchen und Stallungen

11. Verschiedenes

Spielplatzgeräte aus Stahlrohr
Camping-Geräte aus Stahl
Wochenendhäuser aus Stahl
Stahlküchen
Stahldrahtmöbel für Wohnung und Garten
Neuzeitalische Stahlmöbel in Schulen
Flachplastiken aus Stahl
Geschmiedete und geschlossene Gasthausschilder
Geschmiedete und geschlossene Fenstergitter aus Stahl
Geschmiedete und geschlossene Gittertüren und Gittertore
Müllgefäße aus verzinktem Stahl für die staubfreie Müllabfuhr
Verkleidungen für Heizkörper
Schwimmbecken und Schwimmbadausstattungen aus Stahl
Haushaltgegenstände aus Draht
Maschinen und Werkzeuge für Heimwerker

Obige Merkblätter sind beim Österreichischen Stahlbauverband, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Wien IX, Fürstengasse 1, Telefon-Nr. 34 12 77, erhältlich.

Weiteres Schlauchprogramm der

SEMPERIT

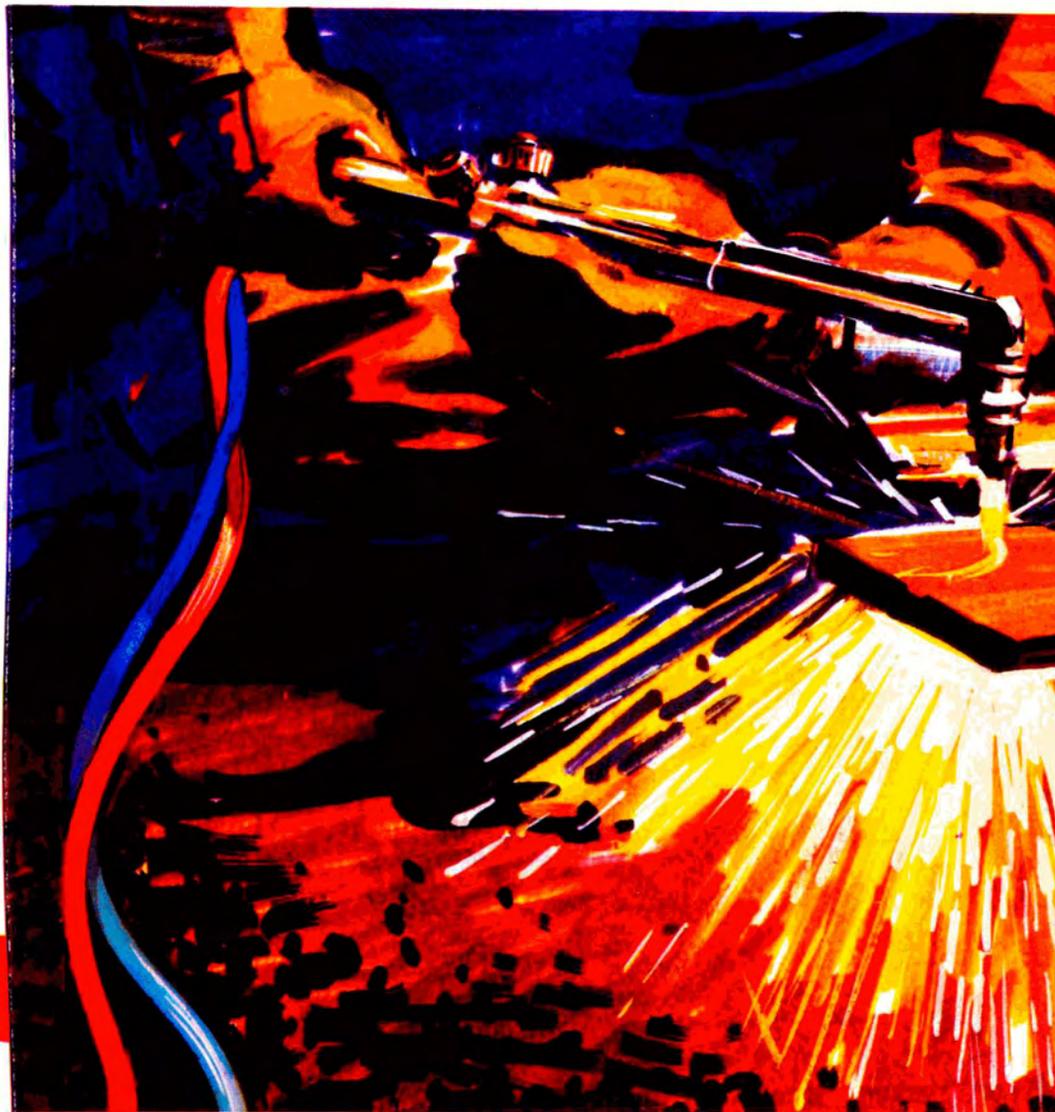
Benzinschläuche
Benzinzapfeschläuche
Bierschläuche
Bremschläuche
Dampfschläuche
Farbspritzschläuche
Heißwasserschläuche
Hochdruckschläuche
Hydraulikschläuche
Industrieschläuche
Kohlensäureschläuche
Kompressorschläuche
Kühlerschläuche
Öldruckschläuche
Preßluftschläuche
Propangas- und Butangasschläuche
Sandstrahlgebläseschläuche
Säureschläuche
Sauerstoffschläuche
Schädlingsbekämpfungsschläuche
Spiralschläuche für Benzin
Fäkalien
Lebensmittel
Lohbrühe
Säure
Industriestaubsauger
Warm- und Frischluft

Teerspritzschläuche
Wasserschläuche
Zementförderschläuche (Siloschläuche)
Zementspritzschläuche
und viele andere mehr.

Lassen Sie sich in allen Fragen durch unsere Fachleute beraten!

SEMPERIT
ÖSTERREICHISCH-AMERIKANISCHE
GUMMIWERKE AKTIENGESellschaft
WIEN

SEMPERIT



SEMPERCORD - AUTOGENSCHLÄUCHI

mit dem großem Sicherheitsfakto

Sempercord-Autogenschläuche werden in einem neuartigen Verfahren nach den Prüf- und Abnahmebedingungen der DIN 8541 hergestellt. Sie sind auf Grund ihrer Materialeigenschaften besonders für den Einsatz unter härtesten Bedingungen bestimmt. Diese neue Schlauchtype ist:

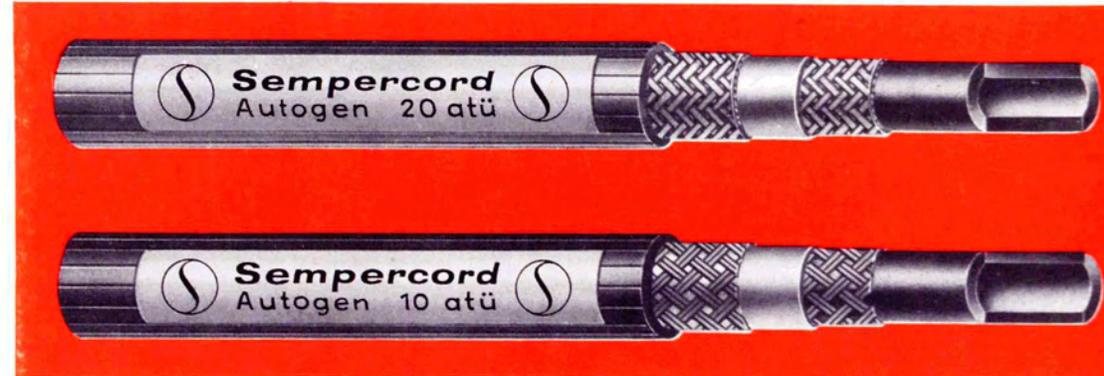
- abriebfest
- drucksicher
- knickfest
- sehr elastisch
- glatt
- schmutzabweisend

Vielseitige Anwendungsmöglichkeiten

- in der Metallindustrie
- im Hoch- und Tiefbau
- in Gewerbebetrieben
- auf Schiffswerften
- im Fahrzeugbau
- im Bergbau
- bei Rohrverlegungen

KONSTRUKTION

- Seele:** schwarz, geeignet für Sauerstoff, Acetylen, Aethan, Preßluft etc.
- Einlagen:** Geflechte aus Synthese-Fasern
- Decke:** Abriebfest, glatt mit feinen Riefen, für Brenngas rot, für Sauerstoff blau,



DIMENSIONEN

für Brenngas rot

für Sauerstoff blau

Innendurchmesser		Wand	Gewicht	Betr.-druck	Prüfdruck	Art.-Nr.
ca. Zoll	mm	mm	ca. g/m	atü	atü	
1/4	6	3,5	170	10	20	3401 00635
3/8	9	3,5	220	10	20	3401 00935
7/16	11	3,5	255	10	20	3401 01135
1/4	6	5	290	20	40	3403 00650
3/8	9	5,5	400	20	40	3403 00955

Lieferung erfolgt über den einschlägigen Fachhandel in Rollen zu zirka 60 bis 100 m.

STADLER-Universal Zweistoffbrand Heizkessel

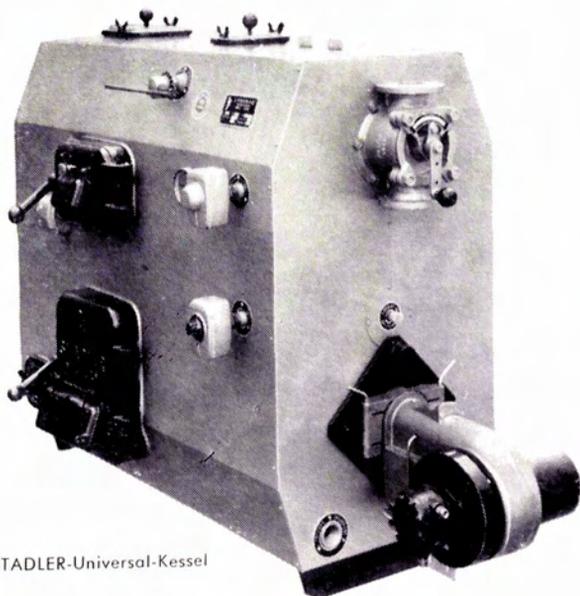
Das deutsche Spitzenfabrikat wird nun in Österreich erzeugt.

Wer modern und zeitgemäß denkt, der fortschrittliche Bauherr also, wählt die Warmwasser-Zentralheizung. Seiner außerordentlichen Vorzüge wegen kommt nur der

STADLER-Universal-Heizkessel

in Betracht.

DAS IST ER,



STADLER-Universal-Kessel

der STADLER-Universal-Kessel

Werkfoto: Kesselfabrik Hans Rendl, Salzburg

Öl, Gas und feste Brennstoffe können wahlweise im **STADLER-Universal-Heizkessel** bei garantiert gleicher Heizleistung verwendet werden.

Zwei voneinander völlig getrennte Brennkammern verbürgen bei größter betrieblicher Störungsfreiheit zugleich die größte Sicherheit.

Bei Ausfall des Gas- oder Ölburners entsteht keine Heizunterbrechung, da fester Brennstoff ohne jede Umstellung verwendet werden kann.

Der **STADLER-Universal-Heizkessel** ist der Kessel der hygienischen Frisch-Warmwasser-Erzeugung, das bedeutet für Sie: niemals abgestandenes Warmwasser, sondern von Beginn des Heizens an stets frisches Warmwasser in unbegrenzter Menge.

Im Sommer können Sie die Heizung durch das patentierte Vierwege-Mischventil vollkommen abschalten und haben trotzdem bei geringsten Heizkosten stets frisches Heißwasser in unbegrenzter Menge zur Verfügung.

Obwohl in zehn verschiedenen Größen, von 25 000 bis 200 000 WE in Links- und Rechtsausführung lieferbar, niedriger Preis.

Ein deutsches Patent, erzeugt in Österreich durch die Firma **HANS RENDL, STAHL-, MASCHINEN-, KESSELBAU Salzburg, Siezenheimer Straße 31**

Verlangen Sie bitte unsere Prospekte und Gutachten. Wir beraten Sie gern.

Vertretungen in allen Bundesländern.

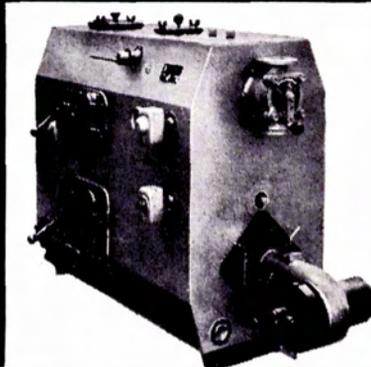
WER RECHNET WÄHLT

STADLER UNIVERSALHEIZKESSEL

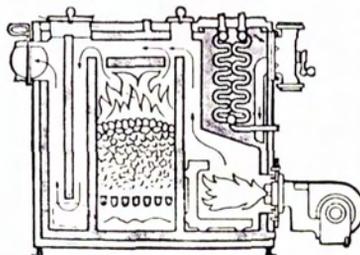
Das deutsche Spitzenerzeugnis in Österreich hergestellt

GLEICHE HEIZLEISTUNG

für
ÖL
GAS
und
KOKS



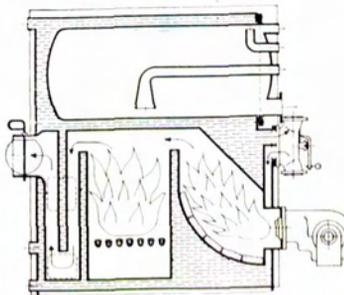
Getrennte Brennkammern



TYP D
mit
ausbau-
barem
Durchlauf-
erhitzer

BILLIGES HEISSWASSER

TYP BD
mit
auszieh-
barem
BOILER



Sparsamster Brennstoffverbrauch

Bitte, prüfen Sie in aller Ruhe, vergleichen Sie die Leistungen, die Qualität und die Preise. Wir glauben zu wissen: Auch Sie entscheiden sich für einen **STADLER-UNIVERSAL-HEIZKESSEL**. Bitte, fordern Sie Unterlagen

HANS RENDL KESSELFABRIK
SALZBURG, SIEZENHEIMER STRASSE 31
TELEPHON: 330 34 SERIE, FS.: 06-3426



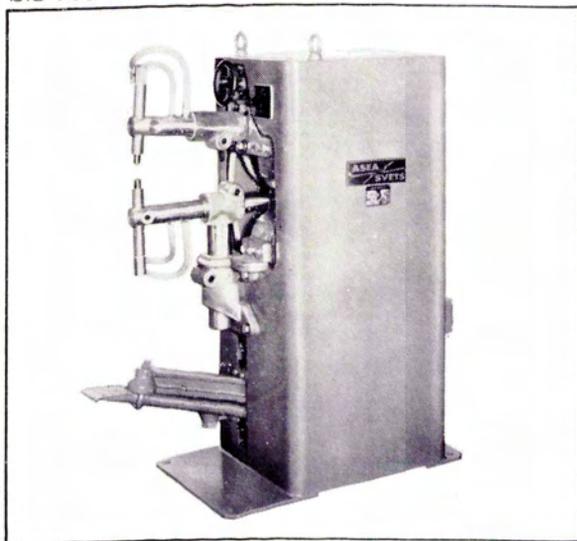
Aus unserem Erzeugungsprogramm



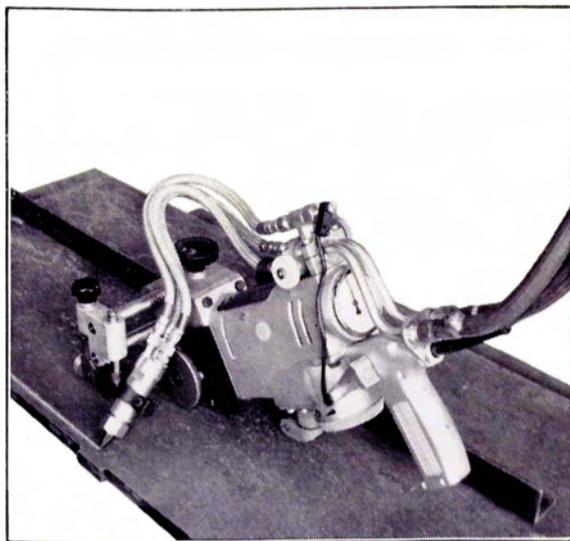
LBH 375. Gleichrichter für Handschweißung. Auch die bewährten KJELLBERG-ESAB Schweißumformer. Und die neuen Qualitäts-
transformatoren der Serie TBH, von 140 A bis 700 A.



Schutzgasschweißen. Das A9-Gerät mit 200A oder 275 A Gleichrichter macht rationalisieren leichter. Schon erprobt und bewährt.



Punktschweißmaschine SVP. Ein komplettes Programm an allen Arten von Maschinen für Widerstandsschweißung.



Brennschneiden. Die bekannten KJELLBERG-EBERLE Maschinen werden dank ihrer Qualität bevorzugt.

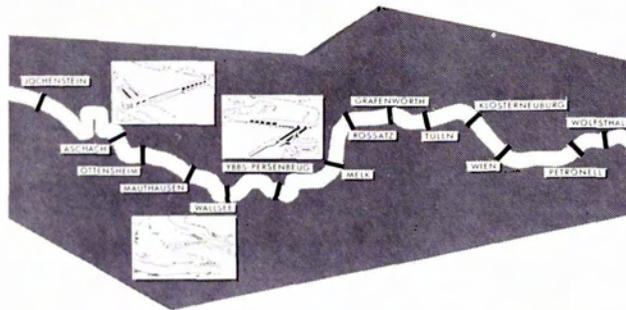
... und die bekannten OK-Schweißelektroden



ESAB

KJELLBERG-ESAB Ges. m. b. H.
Dirnhirngasse 110, 1235 Wien-Liesing,
Tel.: (0222) 86 16 61 Δ, FS: 01-2013

ÖSTERREICHISCHE DONAUKRAFTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT



DIE DONAU – ÖSTERREICHS STROM

Europäische Großschiffahrtsstraße
12 österreichische Kraftwerke mit
davon

ASCHACH in Vollbetrieb

YBBS-PERSENBEUG in Vollbetrieb

WALLSEE-MITTERKIRCHEN in Bau

Größte einheimische Energiequelle

2 266 000 kW Leistung
14 464 000 000 kWh Arbeit

282 000 kW Leistung
1 680 000 000 kWh Arbeit

200 000 kW Leistung
1 250 000 000 kWh Arbeit

205 000 kW Leistung
1 290 000 000 kWh Arbeit

Der Ausbau der Donau hilft maßgeblich mit, Österreichs Strombedarf zu sichern, die Schifffahrtsverhältnisse bedeutend zu verbessern und bringt große gesamtwirtschaftliche Vorteile.



83. WIENER INTERNATIONALE MESSE

13. – 20. März 1966

INDUSTRIE GEWERBE LANDWIRTSCHAFT

Eisen und Stahl / Maschinen / Apparate / Geräte und Werkzeuge / Elektrotechnik / Mechanik

Erfinder-Pavillon

In- und ausländische Werkzeugmaschinen und Spezialmaschinen neuester und bewährter
Konstruktion

Umfassende Schau von Präzisions-Werkzeugmaschinen

ZWEIRAD-, ZUBEHÖR- und AUTOSERVICEGERÄTE-AUSSTELLUNG (Messegelände, Halle 5)

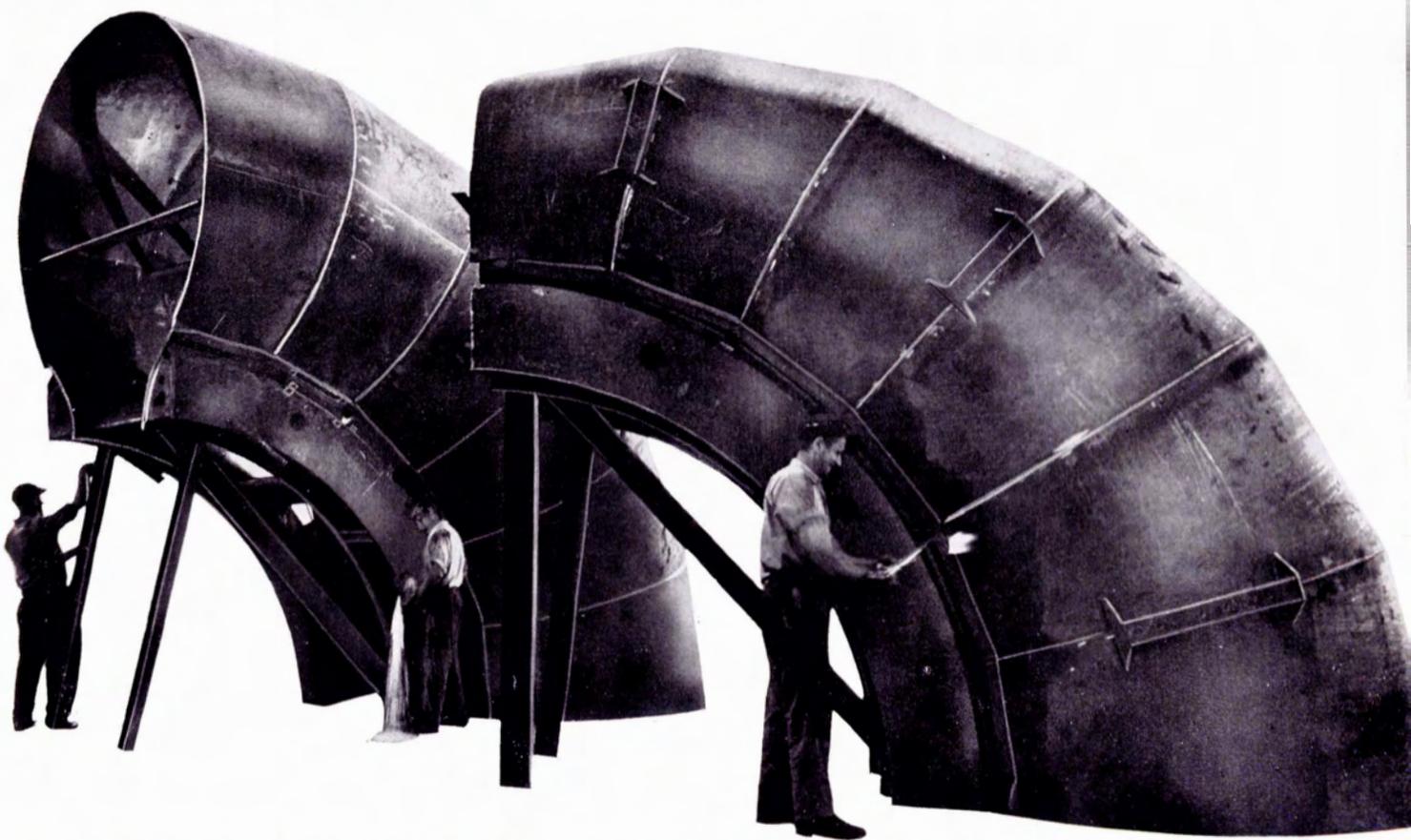
Die beiden Messeanlagen – Messepalast und Messegelände – sind täglich von 9 bis 18 Uhr,
Weinkost und Lebensmittelmesse bis 20 Uhr geöffnet.

Für die Schweißungen im Stahlbau bieten wir Ihnen eine reiche Auswahl an Böhler-Elektroden für Verbindungsschweißungen so etwa BÖHLER ☆ FOX MSU, BÖHLER ☆ FOX SPE, BÖHLER ☆ FOX OHV, BÖHLER ☆ FOX ETI, BÖHLER ☆ FOX UNA, BÖHLER ☆ FOX UMZ, BÖHLER ☆ FOX EV 47, BÖHLER ☆ FOX EV 50, BÖHLER ☆ FOX HL 130 Ti, BÖHLER ☆ FOX 150 Ti, BÖHLER ☆ FOX HL 200 Ti, BÖHLER ☆ FOX HL 150 Kb.

BÖHLER

Alle diese Marken zeichnen sich durch hervorragende Schweiß Eigenschaften und beste mechanische Gütewerte aus; denn BÖHLER-ELEKTRODEN sind das Ergebnis 40 jähriger Erfahrung in der Entwicklung von Schweißdrähten, die – angefangen von der Erschmelzung des Kerndrahtwerkstoffes bis zur fertigen Elektrode – zur Gänze im eigenen Werk hergestellt werden, das erster und größter Elektrodenerzeuger Österreichs ist.

Gebr. Böhler & Co., AG., Edelstahlwerke, Wien I, Elisabethstraße 12, Tel. 57 35 35, Lager Wien XVII, Comeniusgasse 11, Tel. 46 41 67



O. M. MEISSL & CO.

Gesellschaft m. b. H.

Sandstrahlentrostung und Spritzmetallisierung, Technische Anstriche

Büro:
1030 WIEN
III., Marxergasse 39

Telefon 72 42 01
FS 01/3403

Werk:
KLEIN-NEUSIEDL
Fischamender Straße 38

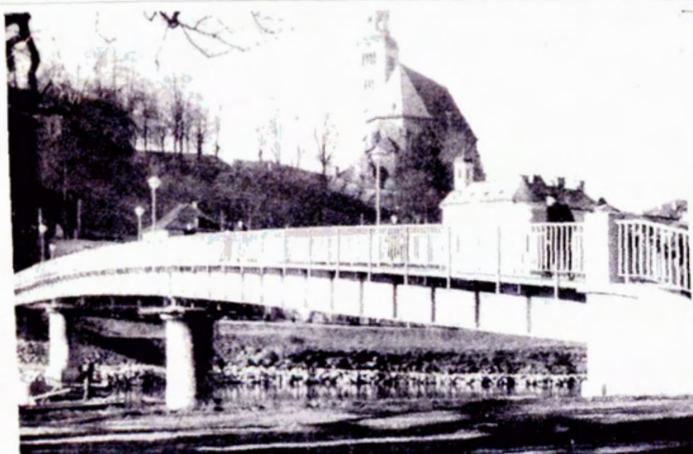


BRUNNER VERZINKEREI BRÜDER BABLIK

WIEN XVIII, SCHOPENHAUERSTRASSE 36

Telefon 42 76 36 – Fernschreiber 07-4526

Feuerverzinkungen



SPRITZVERZINKUNGEN

Metallisierwerk Salzburg

Salzburg, Karolingerstraße 7
Tel. 57 05

Der 100 m lange „Müllner-Steg“,
spritzverzinkt seit 1955/56

Endlich . . .

FORMELN UND TABELLEN

Internationale Maßeinheiten

240 Seiten mit auch ausgefallensten internationalen Maßen und Gewichten, Umrechnungs-, Vergleichstabellen, Maße und Gewichte von Profilen der Halb- und Fertigzeuge, Bleche, Stäbe, Maßeinheiten Wärme, Optik, Elektrizität, Mechanik, Viscosität, Leistung, Arbeit, Zeit usw.
Plastik-Taschenbuch S 62,20

BOHMANN-FACHBUCHHANDLUNG - 1010 WIEN, CANOVAGASSE 5